

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

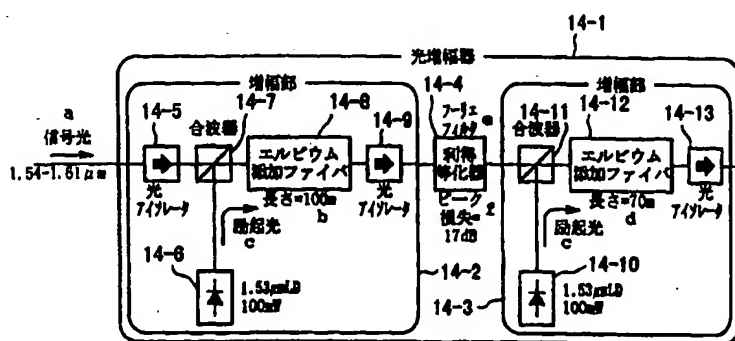
**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



<p>(51) 国際特許分類 H01S 3/10, 3/23, H04B 9/00, G02F 1/35</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO98/36479</p> <p>(43) 国際公開日 1998年8月20日 (20.08.98)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00666</p> <p>(22) 国際出願日 1998年2月18日 (18.02.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/34067 1997年2月18日 (18.02.97) JP 特願平9/238672 1997年9月3日 (03.09.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本電信電話株式会社(NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION)[JP/JP] 〒163-8019 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 増田浩次(MASUDA, Hiroji)[JP/JP] 河合伸悟(KAWAI, Shingo)[JP/JP] 鈴木謙一(SUZUKI, Ken-ichi)[JP/JP] 相田一夫(AIDA, Kazuo)[JP/JP] 〒163-1419 東京都新宿区西新宿3丁目20-2 日本電信電話株式会社内 Tokyo, (JP)</p>		<p>(74) 代理人 弁理士 志賀正武(SHIGA, Masatake) 〒169-8925 東京都新宿区高田馬場三丁目23番3号 ORビル Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: OPTICAL AMPLIFIER AND TRANSMISSION SYSTEM USING THE SAME

(54)発明の名称 光増幅器およびこれを用いた伝送システム



- 14-1 ...optical amplifier
- 14-2, 14-3 ... amplifying section
- 14-5, 14-9, 14-13 ... optical isolator
- 14-7, 14-11 ... multiplexer
- 14-8, 14-12 ... erbium-doped fiber
- 14-4 ... gain equalizer
- a ... signal light
- b ... length=100 m
- c ... excitation light
- d ... length=70 m
- e ... Fourier filter
- f ... peak loss=17 dB

(57) Abstract

An optical amplifier has two amplification stages by using erbium-doped fibers (EDF) as a gain medium. The erbium concentration of the fibers is adjusted to 1,000 ppm and the unsaturated absorption coefficient of the EDFs for signal light at 1,550 nm is adjusted to 1 dB/m. The lengths of the EDFs 14-8 and 14-12 are adjusted to 100 m and 70 m, respectively. Excitation light sources 14-6 and 14-10 are composed of 1.53- μ m semiconductor lasers and the excitation light power of the lasers is adjusted to 100 mW. Multiplexers 14-7 and 14-11 are composed of dielectric multilayered film filters, and a gain equalizer 14-4 is composed of a Fourier filter. The peak loss of the Fourier filter is 17 dB and the gains of the EDFs 14-8 and 14-12 are 25 dB and 15 dB, respectively. Two optical isolators and one optical isolator are installed to the preceding and the succeeding amplifying sections for preventing laser oscillation, respectively.

利得媒質としてエルビウム添加ファイバ (EDF) を用い、2 段階の増幅構成をとっている。エルビウム添加濃度は 1000 ppm とし、1550 nm における信号光の未飽和吸収係数は 1 dB/m とする。EDF・14-8 の長さは 100 m であり、EDF・14-12 の長さは 70 m である。励起光源 14-6, 14-10 は 1.53 μ m の半導体レーザであり、励起光パワーは 100 mW である。合波器 14-7, 14-11 は誘電体多層膜フィルタであり、利得等化器 14-4 はフーリエフィルタである。該フーリエフィルタのピーク損失は 17 dB である。EDF・14-8 の利得は 25 dB であり、EDF・14-12 の利得は 15 dB である。光アイソレータをレーザ発振防止のため、前段増幅部に 2 個、後段増幅部に 1 個設置している。

PCT に基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載された PCT 加盟国を特定するために使用されるコード (参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SN	セネガル
AM	アルメニア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AT	オーストリア	GB	イギリス	LV	ラトヴィア	TD	チャド
AU	オーストラリア	GE	グルジア	MC	モナコ	TG	トーゴ
AZ	アゼルバイジャン	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TM	タジキスタン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TR	トルクメニスタン
BB	バルバドス	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BE	ベルギー	GR	ギリシャ	ML	マリ	UA	ウクライナ
BG	ブルガリア	DE	ドイツ	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
BJ	ベナン	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	US	米国
BM	バハマ	IL	イスラエル	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
BN	ブラジル	IS	アイスランド	MX	メキシコ	VN	ベトナム
BO	ボリビア	IT	イタリア	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
BR	ブラジル	JP	日本	NN	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
BS	バハマ	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
BT	ブータン	KG	キルギス	PL	ポーランド		
BV	バレンツ	KR	韓国	PT	ポルトガル		
CA	カナダ	KZ	カザフスタン	RO	ルーマニア		
CC	ココス (キリング) 諸島	LC	セントルシア	RU	ロシア		
CD	コンゴ民主共和国	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン		
CF	中央アフリカ共和国	LK	スリランカ	SG	シンガポール		
CG	コンゴ共和国	LR	リベリア	SI	スロベニア		
CH	スイス	LS	レソト	SK	スロバキア		
CI	コートジボワール			SL	シエラレオネ		
CK	クック						
CL	チリ						
CM	カメルーン						
CN	中国						
CO	コロンビア						
CR	コスタリカ						
CU	キューバ						
CY	キプロス						
CZ	チェコ						
DE	ドイツ						
DK	デンマーク						
DM	ドミニカ						
DO	ドミニカ共和国						
EE	エストニア						
EG	エジプト						
ES	スペイン						

明 細 書

光増幅器およびこれを用いた伝送システム

5

技術分野

本発明は、光ファイバ伝送系や光信号処理系において必要とされる光増幅器およびこれを用いた伝送システムに関する。

背景技術

10 光ファイバ伝送系で使用される関連技術の光増幅器の構成を図 2 3～図 2 5 に示す。図 2 3, 図 2 4, 図 2 5 はそれぞれ、関連技術の光増幅器の第 1, 第 2, 第 3 の構成である。

図 2 3 において、光増幅器 2 3-1 は、増幅部 2 3-2 および利得等化器 2 3-3 よりなる。その光増幅器 2 3-1 は、伝送ファイバ 2 3-4, 2 3-5 に接続されている。多波長の信号光が、その光増幅器 2 3-1 に入射し、増幅される。
15 前記増幅部 2 3-2 は、利得媒質 2 3-6 (希土類添加ファイバまたは導波路)、励起光源 2 3-7、および、利得媒質 2 3-6 の前段に設置された光部品 2 3-8 (励起光と信号光の合波器、光アイソレータ等) と、利得媒質 2 3-6 の後段に設置された光部品 2 3-9 (光アイソレータ等) よりなる (参考文献:
20 Massicott et al., Electron. Lett., vol.26, No.20, pp.1645-1646, 1990)。

図 2 3 の構成の光増幅器 2 3-1 の利得特性を、図 2 6 A～図 2 6 C に示す。図 2 6 A は、利得媒質 2 3-6 の利得の波長依存性を示している。図 2 6 A で、利得のピーク値は約 30 dB、利得平坦帯域 (例えば、3 dB 利得低下帯域) は約 10 nm である。利得等化器 2 3-3 の損失を図 2 6 B に示す。その損失のピーク値は、約 10 dB である。図 2 6 A の利得から図 2 6 B の損失を引いた値が、
25 光増幅器 2 3-1 の利得であるが、それを図 2 6 C に示す。ただし、簡単のため、光部品 2 3-8 と光部品 2 3-9 の損失は無視した。利得等化器 2 3-3 を用いたことで、利得平坦帯域は約 30 nm に増加した。このように、利得平坦帯域が広がれば、信号光波長間隔が等しい場合、より多くの波長の (したがって多くの

チャンネルの) 信号光を同一利得で増幅できるという利点がある。

図 2 4 は、図 2 3 と同様の利得特性を有するが、図 2 3 に比べ、より低雑音な光増幅器の構成である。図 2 3 の場合と異なるのは、励起光波長の異なる 2 つの励起光源 2 3 - 7, 2 4 - 3 を用いていることである。励起光源 2 4 - 3 が出力する励起光の波長は、励起光源 2 3 - 7 が出力する励起光の波長より短く、利得媒質 2 3 - 6 の (信号光入力方向に対して) 上位部分を、図 2 3 に比べ、より高い反転分布状態で励起する (参考文献: Massicott et al., Electron. Lett., vol.28, No.20, pp.1924-1925, 1992)。

図 2 5 は、利得の広帯域化を図ったものではないが、本発明の構成に類似した構成の光増幅器である。増幅部が前段 (増幅部 2 5 - 2) および後段 (増幅部 2 5 - 3) に分かれており、それらの間に、帯域制限光フィルタまたは分散補償器 2 5 - 4 が設置してある。信号光は、おもに単一波長である。帯域制限光フィルタを用いた場合には、利得媒質が 2 ヶ所に分かれているので、レーザ発振や増幅された自然放出光による増幅特性劣化を被ることなく、高利得化が可能である。分散補償器を用いた場合には、分散補償器の損失による信号対雑音比の劣化を除去することができる (参考文献: Masuda et al., Electron. Lett., vol.26, No.10, pp.661-662, 1990)。

図 2 3 および図 2 4 に示した構成における、平坦利得帯域の平坦利得依存性、および、光増幅器飽和出力パワーの等化器損失依存性を、それぞれ図 9 A および図 9 B に示した。図 9 A より、平坦利得帯域は平坦利得の増加と共に減少し、平坦利得は、レーザ発振や増幅された自然放出光による増幅特性劣化により、30 dB 程度に制限される。一方、図 9 B より、光増幅器飽和出力パワーは、等化器損失の増加と共に著しく減少する。ところが、広い平坦利得帯域を得るには、大きな等化器損失が必要とされるため、大きな光増幅器飽和出力パワーを保ったまま、広い平坦利得帯域を得ることが困難になる、という欠点が生じる。

本発明の目的は、このような欠点を解決した、広帯域な光増幅器を提供することにある。

発明の開示

上記目的を達成するために本発明は、希土類添加ファイバを利得媒質とする長尺な利得媒質を2以上に分割し、この分割した利得媒質と、この利得媒質の有効励起波長を1.53 μm となるように励起光を出力する励起光源とを含む2以上の増幅部と、増幅部の各間に設置され利得媒質の広波長域で有効となる利得等化器とを備えた光増幅器を提供する。これにより、関連技術に比べ、利得平坦帯域が広く、かつ、高飽和出力・低雑音な光増幅器を実現できるという効果がある。

また、本発明は、ラマン増幅媒体として高非線形ファイバもしくは分散補償ファイバを内部に備え、このラマン増幅媒体によりラマン増幅を行うラマン増幅部と、希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを備えた光増幅器を提供する。これにより、利得帯域が平坦でかつ広帯域な集中定数型光増幅器を構成することができる。

また、本発明は、伝送路の分散を補償するパラメータが設定された分散補償ファイバによりラマン増幅を行うラマン増幅部、希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを備えた光増幅器を構成要素とする光伝送システムを提供する。このようにラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合には、伝送路の分散を補償することができるので、大容量の波長分割多重光伝送を実現することが可能である。

図面の簡単な説明

図1は、この発明の第1の構成を示すブロック図である（利得媒質を2分割した場合）。

図2は、この発明の第2の構成を示すブロック図である。

図3は、この発明の第3の構成を示すブロック図である。

図4は、この発明の第4の構成を示すブロック図である。

図 5 は、この発明の第 5 の構成を示すブロック図である。

図 6 は、この発明の第 6 の構成を示すブロック図である。

図 7 A、図 7 B は、この発明の第 1 の構成の特性を示すグラフである。

図 8 は、この発明の第 1 の構成の特性を示すグラフである。

5 図 9 A、図 9 B は、この発明の第 1 の構成および関連技術の特性を示すグラフである。

図 10 は、この発明の第 3 の構成の特性を示すグラフである。

図 11 A、図 11 B は、関連技術の典型例の構成を示すブロック図である。

10 図 12 A、図 12 B は、この発明および関連技術の典型例の特性を示すグラフである。

図 13 は、この発明の典型例の構成を示すブロック図である。

図 14 は、この発明の第 1 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

15 図 15 は、第 1 実施形態の利得スペクトルを示すグラフである。

図 16 は、この発明の第 2 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図 17 は、第 1 実施形態および第 2 実施形態の雑音指数スペクトルを示すグラフである。

20 図 18 は、この発明の第 3 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図 19 は、第 3 実施形態の利得スペクトルを示すグラフである。

図 20 は、この発明の第 4 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

25 図 21 は、この発明の第 5 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図 22 は、この発明の第 6 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図 23 は、関連技術の光増幅器の第 1 の構成例を示すブロック図である。

図 2 4 は、関連技術の光増幅器の第 2 の構成例を示すブロック図である。

図 2 5 は、関連技術の光増幅器の第 3 の構成例を示すブロック図である。

図 2 6 A～C は、図 2 3 の構成の光増幅器の特性を示すグラフである。

5 図 2 7 は、この発明の第 1 の構成を示すブロック図である（利得媒質を 3 分割した場合）。

図 2 8 は、ラマン増幅を用いた光増幅器の利得スペクトルの特性を示すグラフである。

図 2 9 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 7 実施形態の構成を示すブロック図である。

10 図 3 0 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 8 実施形態の構成を示すブロック図である。

図 3 1 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 9 実施形態の構成を示すブロック図である。

15 図 3 2 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 1 0 実施形態の構成を示すブロック図である。

図 3 3 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 1 1 実施形態の構成を示すブロック図である。

図 3 4 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 1 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

20 図 3 5 は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の第 1 3 実施形態の構成を示すブロック図である。

図 3 6 A、図 3 6 B は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光伝送システムの第 1 実施形態の構成を示すブロック図である。

25 図 3 7 A、図 3 7 B は、本発明に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムにおいて、光伝送システムの第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

始めに、長尺な利得媒質を多分割し、分割した利得媒質間に利得等化器を接続

した光増幅器の第1～第6の構成についてその概要を説明し、そのあとそれらの第1～第6実施形態を説明する。

その後、高非線形ファイバもしくは分散補償ファイバをラマン増幅媒質として利用するラマン増幅部を備えた光増幅器を第7～13実施形態で説明する。

- 5 最後に、分散補償ファイバによりラマン増幅する光増幅器を構成要素とする光伝送システムについて2つの実施形態を示す。

概要

本発明の第1～第6の構成をそれぞれ図1～図6に示す。

- 10 第1の構成である図1は、関連技術の図23と、増幅部が前段（増幅部1-2）および後段（増幅部1-3）の2つに分かれている点で大きく異なる。また、関連技術の図25とは、前段の増幅部1-2と後段の増幅部1-3の間に設置する光部品が利得等化器1-4であり、入力信号光が広帯域な多波長光である点で大きく異なる。

- 15 この第1構成での利得特性を図7A、図7B、図8に示す。図7Aは、利得媒質の利得の波長依存性を示している。図7Aで、利得のピーク値は約40dBであり、関連技術の場合に比べ、レーザ発振や増幅された自然放出光による増幅特性劣化がないので、高い値が得られる。前段の増幅部1-2の利得の典型値は25dBであり、後段の増幅部1-3の利得の典型値は15dBである。また、ある一定値（例えば10dBまたは20dB）以上の利得も増加している。利得等
20 化器1-4の損失を図7Bに示す。その損失のピーク値は、約10dBおよび20dBである。

- 図7Aの利得から図7Bの損失を引いた値が、光増幅器1-1の利得であるが、それを図8に示す。ただし、簡単のため、光部品1-8、1-10と光部品1-
25 12、1-14の損失は無視した。損失ピーク値が約10dBのときの利得平坦帯域は30nmであり、損失ピーク値が約20dBのときの利得平坦帯域は50nmである。図26C、すなわち、関連技術における平坦利得値20dBのときの利得平坦帯域は30nmであり、図8、すなわち、本発明における平坦利得値20dBのときの利得平坦帯域は50nmであるから、本発明の構成により、利

得平坦帯域が顕著に拡大したことがわかる。

図 9 A に本発明における平坦利得帯域の平坦利得依存性を示す。関連技術に比べ、利得平坦帯域が顕著に拡大したことがわかる。図 9 B に本発明における光増幅器飽和出力の等化器損失依存性を示した。本発明では、利得等化器 1 - 4 のあ
5 とに光増幅器（増幅部 1 - 3）があるので、光増幅器飽和出力は等化器損失にあまり依存しないことがわかる。関連技術に比べ、光増幅器飽和出力が顕著に増大していることがわかる。以上のように、本発明の第 1 構成では、高い光増幅器飽和出力を保ったまま、広い利得平坦帯域を確保することができる。

また、利得媒質を 3 分割した場合の構成を図 2 7 に示す。3 分割した利得媒質
10 の間に 2 つの利得等化器 1 - 4、1 - 4' を設置している。2 つの利得等化器 1 - 4、1 - 4' を用いているため、総合した利得等化器の損失ピーク値は、30 dB 程度に設定できる。このときの利得平坦領域は約 60 nm である。利得媒質を 2 分割した場合の利得平坦帯域は 50 nm であるから、3 分割することにより利得平坦帯域を約 10 nm 拡大することができる。なお、図では利得媒質を 3 分
15 割までした例について示してあるが、分割数を N (N は 2 以上整数) とし、分割された利得媒質を構成要素とする N 個の増幅部と、その増幅部間に設けられた ($N - 1$) 個の利得等化器とを備えた光増幅器としてもよい。なお、光増幅器は、分割数 N を増やすことで、利得媒質の帯域範囲内で利得平坦帯域を徐々に拡大していくことができる。

20 図 2 は、本発明の第 2 の構成を示している。本発明の第 2 構成は、図 1 に示す構成（第 1 の構成）の増幅部 1 - 2、1 - 3 を、それぞれ、図 2 に示す構成に置き換えたものである。すなわち、図 1 とは、増幅部の励起光源が異なっている。図 2 では、図面の簡単化のため、図 1 との相違点のみを、図 1 の増幅部 1 - 2 に対応する増幅部 2 - 1 について示した。この相違点は、図 1 の増幅部 1 - 3 に対応する増幅部（図示略）についても同様である。本構成は、図 1 に比べ、より低
25 雑音な光増幅器の構成である。図 1 の場合と異なるのは、励起光波長の異なる 2 つの励起光源 1 - 7、2 - 2 を用いていることである。励起光源 2 - 2 が出力する励起光の波長は、励起光源 1 - 7 が出力する励起光の波長より短く、利得媒質 1 - 9 の（信号光入力方向に対して）上位部分を、図 1 に比べ、より高い反転分

布状態で励起する。

図3は、本発明の第3の構成を示している。図23（関連技術）とは、伝送ファイバ23-4を増幅媒質として用い、その励起光源3-3があらたに設置されている点異なる。伝送ファイバ23-4はラマン増幅を行い、その利得は希土類添加ファイバなどの利得媒質の利得波長依存性の平坦化、すなわち、利得等化を行う波長依存性を有するようになっている。すなわち、励起光の波長が、利得等化を行う波長のラマンシフト量（シリカファイバで約110nm）だけ、短波長側に設定されている。この第3構成の利得特性を図10に示す。総合利得（利得媒質利得－等化器損失＋ラマン利得）の利得平坦帯域は、ラマン増幅を行わない場合の利得（利得媒質利得－等化器損失）の利得平坦帯域より広くなるという利点が生じている。

図4は、本発明の第4の構成を示している。図2（本発明の第2構成）と利得および雑音特性は同様であるが、構成部品がより簡易・安価・安定な構成である。低雑音特性を確保するために、励起波長が短い励起光源2-2を用いている。光部品4-2を用いて、利得媒質1-9をレーザ発振媒質とするレーザリング（光部品1-8～利得媒質1-9～光部品1-10～光部品4-2～光部品1-8）を構成する。このとき、光部品1-8および光部品1-10はレーザ発振光に対して、それぞれ合波器および分波器を有する。そのレーザ発振光は、図2（本発明の第2構成）における励起光源1-7が出力する励起光と同様の作用、すなわち、利得媒質を所望の反転分布状態に励起する作用を有する。

図5は、本発明の第5の構成を示している。図4（本発明の第4構成）と類似の構成であるが、レーザ発振光の伝搬方向が図4の場合と逆である。このとき、光部品1-8および光部品1-10はレーザ発振光に対して、それぞれ、合波器および分波器を有するが、それらは方向性の合分波器である光サーキュレータ等であることが新たに可能であり、効率も良い。レーザ発振光は信号光と逆方向に伝搬するため、信号光の波長に関係なくレーザ発振光の波長を設定でき、部品構成の任意度が広がり、有利である。

図6は、本発明の第6の構成を示している。図5（本発明の第5構成）と類似の構成であるが、励起光源6-2を新たに設置して、励起光をレーザリングの経

路を利用して追加している。したがって、総合の励起光強度を増加させ、光増幅器の飽和出力を増加させることができる。

以上、本発明の第1～第6の構成を示したが、以下に、関連技術との相違を明確にするために、関連技術および本発明の典型例の構成と、それらの構成のときの利得特性を図を用いて説明する。利得媒質は、エルビウム添加ファイバ（Er³⁺添加ファイバ：EDF）とした。エルビウム添加濃度は1000 ppmとし、1550 nmにおける信号光の未飽和吸収係数は1 dB/mとする。

図11A、図11Bに関連技術の第1および第2の典型例の構成を示す。図11Aは、励起波長が1.48 μmの第1の関連技術の典型例である。EDF・11-6の長さは50 m、励起光パワーは100 mW、利得等化器11-3のピーク損失は10 dB以下である。このときの利得の波長依存性（利得スペクトル）を図12Aに示した。平坦利得20 dB、平坦帯域30 nm（1535～1565 nm）である。

図11Bは、励起波長が1.55 μmの第2の関連技術の典型例である。EDF・12-4の長さは150 m、励起光パワーは200 mW、利得等化器11-3のピーク損失は10 dB以下である。このときの利得の波長依存性（利得スペクトル）を図12Aに示した。平坦利得20 dB、平坦帯域40 nm（1570～1610 nm）である。

図13に本発明の典型例の構成を示す。2段増幅構成であり、前段のEDF・13-7の長さは100 mであり、後段のEDF・13-11の長さは70 mである。また、前段のEDF・13-7の利得は25 dBであり、後段のEDF・13-11の利得は15 dBである。その間に設置された利得等化器13-4のピーク損失は20 dBである。総合した利得スペクトルを図12Bに示す。平坦利得20 dB、平坦帯域50 nm（1550～1600 nm）である。

上記の関連技術および本発明の典型例の利得スペクトルを比較すると明らかに、本発明の構成を採用することにより、平坦帯域が顕著に拡大した。

上記のように、本発明では、利得媒質を2ヶ所または3ヶ所以上に分けて設置することにより、総合利得を、レーザ発振や増幅された自然放出光による利得劣化の影響なく増大させるとともに、ある一定以上の利得を有する帯域を、関連技

術に比べ、増大させている。また、利得等化器の損失値を大きくとって、利得平坦帯域を関連技術に比べ、広げることを可能にしている。さらに、利得等化器の後段に利得媒質を設置する構成をとっているので、利得等化器の損失値を大きくとって、光増幅器の飽和出力を大きく保つことができ、利得等化器の損失値を大きくとったとき、光増幅器の飽和出力が顕著に低下する関連技術の欠点を克服している。

(第1実施形態)

以下、図面を参照して、この発明の第1実施形態について説明する。

10 図14は、この発明の第1実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

本実施形態では、利得媒質としてエルビウム添加ファイバ (Er^{3+} 添加ファイバ: EDF) を用い、2段増幅構成をとっている。エルビウム添加濃度は1000 ppmとし、1550 nmにおける信号光の未飽和吸収係数は1 dB/mとする。前段のEDF・14-8の長さは100 mであり、後段のEDF・14-12の長さは70 mである。励起光源14-6, 14-10は、1.53 μm の半導体レーザ (LD) であり、励起光パワーは100 mWである。励起光と信号光の合波器14-7, 14-11は誘電体多層膜フィルタ、利得等化器14-4は Split Beam Fourier Filter (フーリエフィルタ) である。利得等化器 (フーリエフィルタ) 14-4のピーク損失は17 dBである。前段のEDF・14-8の利得は25 dBであり、後段のEDF・14-12の利得は15 dBである。光アイソレータをレーザ発振防止のため、前段の増幅部に2個、後段の増幅部に1個設置している。なお、利得等化器14-4は、利得平坦帯域が拡大し、利得媒質の広波長域で有効なパラメータ設定されるものとする。

25 本発明の第1実施形態の利得スペクトルを図15に示した。平坦利得17 dB、利得平坦帯域50 nmを得ている。また、1.54~1.61 μm の多波長信号入力 (例えば、20波、100波) のときの飽和出力は約15 dBmであり、十分高い。ただし、合波器14-7, 14-11、光アイソレータ14-9, 14-13、利得等化器 (フーリエフィルタ) 14-4の挿入損失は各1 dBとした。

(第2実施形態)

次に、この発明の第2実施形態について説明する。

図16は、この発明の第2実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図14(第1実施形態)とは励起光源部が異なる。他は第1実施形態と同様である。励起光源16-4, 16-8は、波長 $1.48\mu\text{m}$ 、出力光パワー 100mW のLDであり、励起光源16-6, 16-10は、波長 $1.55\mu\text{m}$ 、出力光パワー 1mW のLDである。EDF・14-8, 14-12内に入射した $1.48\mu\text{m}$ の励起光は、該EDF・14-8, 14-12に吸収され、一方、 $1.55\mu\text{m}$ の励起光は、該EDF・14-8, 14-12中で増幅される。その結果、該EDF・14-8, 14-12の上位部では $1.48\mu\text{m}$ の励起光パワーが支配的であるが、下位部では $1.55\mu\text{m}$ の励起光パワーが支配的になる。総合的には、 $1.53\mu\text{m}$ で励起した第1実施形態と同じ利得を得ることができる。

さらに、上位部での反転分布が $1.48\mu\text{m}$ 励起により高まるので、雑音特性が向上する。具体的には、雑音指数が低減される。図17に第2実施形態および第1実施形態における雑音指数の信号光波長依存性を示す。第2実施形態の方が雑音指数が低くなっていることがわかる。

(第3実施形態)

次に、この発明の第3実施形態について説明する。

図18は、この発明の第3実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図14(第1実施形態)とは、ラマン増幅を加えている点異なる。伝送ファイバ(シリカファイバ)18-4を、波長 $1.51\mu\text{m}$ 、出力光パワー 200mW の励起光源(LD)・18-6で励起している。伝送ファイバ18-4は、 60km の分散シフトファイバである。 $1.61\mu\text{m}$ でのラマン利得は 10dB である。図19に本実施形態による利得スペクトルを示す。第1実施形態に比べ、平坦利得で 5dB 、利得帯域で 25nm の向上がある。

なお、合波器 18-5 として方向性結合器である光サーキュレータを用いるとよい。なぜならば、伝送ファイバに対する励起波長 ($1.51\mu\text{m}$) と信号光の方向が異なることから、光サーキュレータによる光の合波が容易に行えるからである。また、合波器 18-5 として WDM (Wavelength Division Multiplexing) カプラを用いる場合に比べ、光サーキュレータを用いることにより励起波長近くの信号光の光増幅も可能となり、光増幅する帯域の広帯域化を図ることが可能となるからである。

(第 4 実施形態)

次に、この発明の第 4 実施形態について説明する。

図 20 は、この発明の第 4 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

本実施形態は、図 16 (第 2 実施形態) とは、前段および後段の増幅部における EDF の励起部の構成が異なる。したがって、図 20 では、前段の増幅部 20-1 のみ示した。後段の増幅部 (図示略) の構成は、前段の増幅部 20-1 の構成と同様である。励起光源 16-4 は、波長 $1.48\mu\text{m}$ 、出力光パワー 100mW の LD である。波長 $1.55\mu\text{m}$ の LD を用いる代わりに、リングレーザを構成し、波長 $1.55\mu\text{m}$ の高強度レーザ発振光を発振させている。リングレーザは、EDF・14-8、リングレーザ用合波器 (合波器 20-2, 20-3)、狭帯域透過光フィルタ 20-6、可変減衰器 20-5、および、光アイソレータ 20-4 で構成されている。合波器 20-2, 20-3 は、レーザ発振光波長のみ狭帯域に合波・分波する WDM (Wavelength Division Multiplexing) カプラを用いると良い。得られる増幅特性は、第 2 実施形態の場合と同じである。本構成では、励起光源 (LD) が 1 個で済むため、構成が簡易・高安定などの利点がある。

(第 5 実施形態)

次に、この発明の第 5 実施形態について説明する。

図 21 は、この発明の第 5 実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すプロ

ック図である。

図20（第4実施形態）とは、リングレーザを構成するにあたって、光アイソレータ20-4，リングレーザ用合波器（合波器20-2，20-3）を用いず、光サーキュレータ21-2，21-3を用いている点が異なる。光サーキュレータ21-2，21-3を用いることにより、光部品点数が減り、構成が簡易になるなどの利点がある。

（第6実施形態）

次に、この発明の第6実施形態について説明する。

10 図22は、この発明の第6実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

図21（第5実施形態）とは、リングレーザのループを用いて励起光源を1個増設している点で異なる。これにより、信号光利得の劣化なしに総合励起光パワーを増大して、信号光飽和出力を増大させることができるなどの利点がある。

15

なお、上記第1～第6実施形態では、増幅部が2段ありその間に利得等化器を設けた構成を例にして説明したが、各実施形態において説明した増幅部をN段（Nは2以上の整数）設け、それぞれの増幅部の間に利得等化器を設けた構成としてもよい。

20 以上、この発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。

25 以上、本発明によれば、関連技術に比べ、利得平坦帯域が広く、かつ、高飽和出力・低雑音な光増幅器を実現できるという効果がある。

次に、高非線形ファイバもしくは分散補償ファイバをラマン増幅媒質として利用するラマン増幅部を備えた光増幅器を第7～13実施形態で説明する。

(第7実施形態)

まず始めに、図29を参照して、光増幅器に係わる第7実施形態について説明する。なお、この第7実施形態は、高非線形ファイバをラマン増幅媒質として利用するラマン増幅部を備えた光増幅器の最も基本的な構成に関するものである。

この図に示すように、本実施形態の光増幅器Aは、ラマン増幅部A1と希土類添加ファイバ増幅部A2とから構成される。このように構成された光増幅器Aには、光信号を入力するための伝送ファイバB1（伝送路）と増幅された光信号を出力するための伝送ファイバB2（伝送路）とがそれぞれ接続される。

また、上記ラマン増幅部A1は、ラマン増幅媒質である高非線形ファイバa1と、高非線形ファイバa1を励起するための励起光を発生する励起光源a2、及び合波器a3とから構成される。高非線形ファイバa1の一端には上記伝送ファイバB1が接続されて光信号が入射され、その他端には合波器a3が接続されて励起光源a2から供給された励起光が入射されるようになっている。

すなわち、合波器a3は、励起光を光信号の入射方向に対して逆の方向から高非線形ファイバa1に入射させると共に、該高非線形ファイバa1によって増幅された光信号を希土類添加ファイバ増幅部A2に出力する。この希土類添加ファイバ増幅部A2は、上述したように希土類添加ファイバに励起光を照射することにより光増幅作用を持たせたものであり、利得等化器等の利得平坦化手段を備えるものであっても良い。

このように構成されたラマン増幅部A1と希土類添加ファイバ増幅部A2とから光増幅器Aを構成した場合、希土類添加ファイバ増幅部A2における長波長領域での利得スペクトルの減少を相殺するようにラマン増幅部A1のラマン利得を調節することにより、広帯域に亘って利得が平坦な波長領域を実現することができる。

このように本実施形態は、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバa1を適用する点において、第3実施形態に示す光伝送ファイバをラマン増幅媒質として利用する光増幅器とは大きく異なる。一般に、高非線形ファイバは、通常に用いられている伝送ファイバに比べてモード径が小さく、また添加物質の濃度も大きい

ために光に対する非線形効果の効率がよく、よって比較的短尺なファイバ長と低いパワーの励起光においても効率よくラマン増幅を行うことができる。このような高非線形ファイバによれば、コア径の -2 乗及び添加物の濃度に比例したラマン増幅率が得られる。したがって、例えばファイバ長を数 km 程度にして光増幅器内に内蔵することができるので、集中定数的な光増幅器の構成が可能となると共に、効率的なラマン増幅が可能となる。

例えば、このような高非線形ファイバ a1 から構成されたラマン増幅部 A1 のパラメータの典型値としては、高非線形ファイバ a1 のモード径及びファイバ長が、各々 $4\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \text{km}$ であり、 $1.51\ \mu\text{m}$ 励起の半導体レーザである励起光源 a2 からの励起光のパワーは $200\ \text{mW}$ である。

(第 8 実施形態)

続いて、図 30 を参照して、本発明の光増幅器に係わる第 8 実施形態について説明する。なお、この実施形態は、上記第 7 実施形態における希土類添加ファイバ増幅部 A の構成のバリエーションに関するものである。したがって、ラマン増幅部については上記ラマン増幅部 A1 と同様であり、よって同一符号を付してその説明を省略する。

この図に示すように、本実施形態における希土類添加ファイバ増幅部 A3 は、前段増幅部 1 と後段増幅部 2 及びこれらの間に介挿されるフーリエフィルタ (Split Beam Fourier Filter) 3 によって構成される。また、前段増幅部 1 は、アイソレータ 1 a、1 d と合波器 1 b と希土類添加ファイバ 1 c と励起光源 1 e (半導体レーザ) とから構成され、後段増幅部 2 は、合波器 2 a と希土類添加ファイバ 2 b とアイソレータ 2 c と励起光源 2 d (半導体レーザ) とから構成される。

ラマン増幅部 A1 から出射された光信号は、アイソレータ 1 a に入射され、合波器 1 b さらに希土類添加ファイバ 1 c を経由してアイソレータ 1 d からフーリエフィルタ 3 に出射される。また、希土類添加ファイバ 1 c には、励起光源 1 e から出射された励起光が合波器 1 b を介して入射される。フーリエフィルタ 3 は、利得等化手段として作用するものであり、前段増幅部 1 から入射された光信号を

利得等化して後段増幅部 2 に出射する。

そして、このようにフーリエフィルタ 3 から出射された光信号は、後段増幅部 2 の合波器 2 a に入射され、希土類添加ファイバ 2 b を経由してアイソレータ 2 c から出射される。また、希土類添加ファイバ 2 b には、励起光源 2 d において
5 発生された励起光が合波器 2 a を介して入射される。

上記希土類添加ファイバ増幅部 A3 によれば、ラマン増幅部 A1 の高非線形ファイバ a 1 によってラマン増幅された光信号は、希土類添加ファイバ 1 c によって光増幅された後、フーリエフィルタ 6 によって利得等化され、さらに希土類添加ファイバ 2 b によって光増幅される。

10 本実施形態では、上述したように比較的に短尺の高非線形ファイバ a 1 と比較的低パワーの励起光で効率良くラマン増幅が行えて集中定数的な光増幅器の構成が可能となるため、従来では不可能であった後置増幅器としても上記構成の希土類添加ファイバ増幅部 A3 を用いることができる。

なお、図 30 において、希土類添加ファイバ増幅部 A3 は、前述の第 1 ～ 第 6
15 実施形態で説明した N 個 (N は 2 以上の整数) の増幅部とそれらの間に設けられる (N - 1) 個の利得等化器により構成されるものであってもよい。

ここで、本実施形態ではラマン増幅用の励起光を合波器 a 3 を用いて合波しているが、合波器 a 3 に代えて光サーキュレータ等の方向性結合器を用いてもよい。この場合、前段増幅部 1 のアイソレータ 1 a が不要となり、該アイソレータ 1 a
20 における光信号の損失を減少させることができる。

なお、本実施形態を含めた利得平坦化希土類添加ファイバ増幅器の構成については、文献 (H.Masuda, et al., Electron. Lett., Vol. 33, pp. 1070-1072 (1997)) に詳細な記述がある。

25 (第 9 実施形態)

次に、図 31 を参照して、本発明に係わる光増幅器の第 9 実施形態について説明する。この実施形態は、上記第 8 実施形態におけるラマン増幅部 A1 をラマン増幅部 A4 に変更したものであり、この他の構成については第 8 実施形態と同様である。すなわち、このラマン増幅部 A4 は、高非線形ファイバ a 1 の前方 (光

信号の入射側) からも励起光を入射するために、光信号の入口端に合波器 a 4 (第 2 の合波器) を設け、該合波器 a 4 を介して励起光源 a 5 (第 2 の励起光源) から出射された励起光を前方から高非線形ファイバ a 1 に供給するものである。

このような構成を採用することにより、例えば励起光源 a 2 のパワーを励起光源 a 5 のパワーと同等とした場合に、上記実施形態 2 に対して 2 倍のパワーの励起光を高非線形ファイバ a 1 に供給することができるので、各励起光源 a 2, a 5 のパワーを比較的抑えた状態で、光信号をさらに効率良くラマン増幅することができる。なお、励起光源 a 2 のパワーと励起光源 a 5 のパワーとが同一パワーである必要のないことは勿論である。

10

(第 10 実施形態)

図 3 2 は、本発明の光増幅器に係わる第 10 実施形態の構成を示す図である。

本実施形態は、上述した各実施形態に対してラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部 A5 は、上記図 2 9 に示したラマン増幅部 A1 に対して、光信号の入力つまり高非線形ファイバ a 1 の入力端にアイソレータ a 6 を設けた点を特徴とする。このような構成を採用することにより、高非線形ファイバ a 1 を通過した励起光が伝送ファイバへ漏れ込むことを防止することができる。

20 (第 11 実施形態)

図 3 3 は、本発明の光増幅器に係わる第 11 実施形態の構成を示す図である。

本実施形態も、上記第 10 実施形態と同様にラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部 A6 は、上記図 2 9 に示したラマン増幅部 A1 の構成に対して、光信号の入力に合波器 a 7 を設けると共に、該合波器 a 7 と高非線形ファイバ a 1 との間に希土類添加ファイバ a 8 を新たに設け、さらに合波器 a 7 を介して高非線形ファイバ a 1 及び希土類添加ファイバ a 8 に励起光を供給する励起光源 a 9 を備える点を特徴とする。

図 2 8 は、シリカファイバ伝送路をラマン増幅体とした場合の利得スペクトルである。この場合、利得帯域の短波長領域では大きなラマン利得が得られないた

め、ラマン増幅部A1では雑音特性が劣化する可能性がある。本実施形態では、信号光を希土類添加ファイバa8で増幅した後に高非線形ファイバa1でラマン増幅するので、上記利得帯域の短波長領域における雑音特性の劣化を防止することができる。

5

(第12実施形態)

図34は、本発明の光増幅器に係わる第12実施形態の構成を示す図である。

本実施形態も、上記第10、11実施形態と同様にラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A7は、
10 上記図に示したラマン増幅部A1の構成に対して、高非線形ファイバa1に代えて分散補償ファイバa10を適用する点を特徴とするものである。

一般的に、分散補償ファイバは、高非線形ファイバ等と同様にコア径が小さくまた添加物質の濃度が大きいという特徴を持つため、ラマン増幅媒質として用いることが可能である。このような分散補償ファイバを用いることにより、信号伝
15 搬中に累積する伝送路分散を補償することができる。現状では分散補償ファイバによって $-200 \sim +200 \text{ ps/nm/dB}$ 程度の分散補償が可能であり、伝送路として分散シフトファイバを用いた伝送系は勿論、伝送路にシングルモードファイバを用いた伝送系における累積分散の補償も十分に可能である。

また、後置増幅器構成の場合には、光増幅器への入力光パワーが大きくなり、
20 零分散波長近傍の多波長信号光は四光波混合等の非線形効果の影響により隣接チャネル間でクロストークを生じる可能性があるが、本実施形態のように高分散を有する分散補償ファイバa10を用いることにより、このようなクロストークを抑圧することが可能である。

25 (第13実施形態)

さらに、図35を参照して、本発明に係わる光増幅器の第13実施形態について説明する。本実施形態は、上記第12実施形態に対するラマン増幅部の構成のバリエーションに関するものである。すなわち、本実施形態のラマン増幅部A8は、上記分散補償ファイバa10に代えて、分散スロープが伝送ファイバの分散

スロープとは逆符号の関係となる分散補償ファイバ a 11 を適用する点を特徴とする。

- このように分散補償ファイバ a 11 の分散スロープを伝送ファイバに対して逆符号の関係とすることによって、伝送路分散を補償することができるだけでなく、
- 5 高次分散（分散の波長依存性、これにより波長の異なる信号チャネル間で累積分散値に差が生じる）の補償も可能となる。

- 次に、上記第 1 2, 1 3 実施形態に示した光増幅器を用いた光伝送システムの実施形態について、図面を参照して説明する。すなわち、光伝送システムに係わる
- 10 以下の実施形態は、分散補償ファイバを用いた光増幅器に関するものである。

（光伝送システムに係わる第 1 実施形態）

- まず、図 3 6 A、B を参照して、光伝送システムの第 1 実施形態について説明する。図 3 6 A に示すように、本実施形態の光伝送システムは、送信器 9 と波長
- 15 1. 5 μ m 帯に零分散波長を有する分散シフトファイバ 1 0（伝送路）と光増幅器 1 1 と受信器 1 2 とから構成される。

- 光増幅器 1 1 は、ラマン増幅媒質として分散補償ファイバ（a 10 あるいは a 11）を用いた上記第 1 2, 1 3 実施形態の増幅器である。本光伝送システムは、送信機 9 と受信機 1 2 との間を分散シフトファイバ 1 0 によって接続し、かつ該
- 20 分散シフトファイバ 1 0 の所定中継間隔毎に光増幅器 1 1 を介挿して構成される。ここで、分散補償ファイバ（a 10 あるいは a 11）の各パラメータは、伝送路すなわち分散シフトファイバ 1 0 の分散を補償するように設定されている。

- 例えば、図 3 6 B に示すように、ある信号光波長における上記分散シフトファイバ 1 0 の分散値を 2 p s / n m / k m、また中継間隔を 1 0 0 k m とした場合、
- 25 光増幅器 1 1 内の分散補償ファイバ（a 10 あるいは a 11）の分散値及びファイバ長を - 1 0 0 p s / n m / k m、2 k m に設定することにより分散補償をすることができる。すなわち、図示するように、分散シフトファイバ 1 0 による伝送に係わる面積と光増幅器 1 1 内の分散補償ファイバ（a 10 あるいは a 11）の伝送に係わる面積とが等しくなるので、分散が補償される。

また、上述のように、分散シフトファイバ10の分散スロープを光増幅器11内の分散補償ファイバ(a10あるいはa11)に対して逆符号の関係とすることにより、高次分散の補償も可能である。

5 (光伝送システムに係わる第2実施形態)

次に、図37A、Bを参照して、本発明の光伝送システムに係わる第2実施形態について説明する。この実施形態は、図37Aに示すように、上記第1実施形態の分散シフトファイバ10に代えて、伝送路として波長1.3 μ m帯に零分散波長を有するシングルモードファイバ13を用いた点を特徴とする。また、分散補償ファイバ(a10あるいはa11)の各パラメータは、伝送路すなわちシングルモードファイバ13の分散を補償するように設定される。

例えば、図37Bに示すように、ある信号光波長におけるシングルモードファイバ13の分散値を15ps/nm/km、また中継間隔を100kmとした場合、光増幅器11内の分散補償ファイバ(a10あるいはa11)の分散値及びファイバ長を-150ps/nm/km、10kmとすることにより、図示するようにシングルモードファイバ13による伝送に係わる面積と光増幅器11内の分散補償ファイバ(a10あるいはa11)の伝送に係わる面積とが等しくなるので、分散が補償される。また、上述のように、シングルモードファイバ13の分散スロープと光増幅器11内の分散補償ファイバ(a10あるいはa11)の分散スロープとの関係を逆符号に設定することにより、高次分散の補償も可能である。

なお、第7～第13実施形態および光伝送システムに係わる2つの実施形態に示す本発明は上記各実施形態に限定されるものではなく、以下のような変形が考えられる。

25 (1) 各実施形態の合波器a3に代えて光サーキュレータ等の方向性結合器を用いる。この場合、後段に接続される希土類添加ファイバ増幅部の入力にアイソレータを挿入する必要がなくなるので、該アイソレータにおける光信号の損失を減少させることができる。

(2) ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光

増幅器の第9実施形態と同様にして、ラマン増幅媒質の前後から励起光を入射させる。

(3) ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光増幅器の第10実施形態と同様にして、分散補償ファイバの光信号の入力端にアイソレータを設ける。

(4) ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合においても、上記光増幅器の第11実施形態と同様にして、分散補償ファイバと直列に希土類添加ファイバを設ける。

(5) 上記の他、高非線形ファイバをラマン増幅媒質として用いた上記光増幅器に係わる各実施形態は、ラマン増幅媒質を分散補償ファイバとした場合にも適用することができると共に、分散補償ファイバ用いた光増幅器に係わる各実施形態に高非線形ファイバを用いた上記各実施形態の手段を組み合わせることも考えられる。また、光伝送システムを構成する光増幅器についても、分散補償ファイバを用いた上記各実施形態の光増幅器に高非線形ファイバを用いた上記各種実施形態の光増幅器の手段を組み合わせたものを用いることが考えられる。

以上説明したように、第7～第13実施形態に係わる光増幅器及びこれを用いた光伝送システムによれば、以下のような効果を奏する。

(1) ラマン増幅媒質を用いたラマン増幅部と希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを組み合わせることにより広帯域の光増幅を行う光増幅器において、ラマン増幅媒質として高非線形ファイバあるいは分散補償ファイバを適用するので、利得帯域が平坦でかつ広帯域な集中定数型光増幅器を構成することができる。

(2) また、ラマン増幅媒質として分散補償ファイバを用いた場合には、伝送路の分散を補償することができるので、大容量の波長分割多重光伝送を実現することが可能である。

以上説明したように、本発明により増幅器の利得帯域を大幅に拡大することができる。よって、信号光チャネル数・伝送容量を増大でき、波長分割多重システ

ムの高度化・経済化を行える。

また、本発明は陸上の基幹伝送系、加入者系、海底中継伝送路系等の波長分割多重の光伝送で幅広く利用することができる。

請 求 の 範 囲

1. 希土類添加ファイバを利得媒質とする長尺な利得媒質を2以上の整数であるN個に分割し、該分割した利得媒質と、該利得媒質の有効励起波長を1.5 μm となる励起光を出力する励起光源とを含むN個の増幅部と、
前記N個の増幅部の各間に設置され、前記利得媒質の広波長域で有効となる(N-1)個の利得等化器と
を備えた光増幅器。
10
2. 前記励起光は、励起波長の異なる複数の励起光からなる請求の範囲第1項記載の光増幅器。
15
3. 前記希土類添加ファイバは、エルビウム添加ファイバである請求の範囲第1項記載の光増幅器。
20
4. 前記光増幅器は、該光増幅器が接続されるシリカファイバ伝送路に対しラマン増幅励起光を送る励起光源をさらに備えた請求の範囲第1項記載の光増幅器。
25
5. 前記光増幅器は、入力側に方向性結合器を備え、
前記ラマン増幅励起光は、前記方向性結合器を介して前記ラマン増幅体に送られる
請求の範囲第4項記載の光増幅器。
30
6. 前記ラマン増幅励起光の波長は、前記光増幅器による増幅帯が広帯域化される波長である請求の範囲第5項記載の光増幅器。
35
7. 前記希土類添加ファイバは、エルビウム添加ファイバであり、

前記光増幅器による増幅帯が広帯域化されるラマン増幅励起光の波長は、1.49から1.53 μm の範囲である請求の範囲第6項記載の光増幅器。

5 8. 前記増幅部は、前記励起光源による第1の励起光波長と異なる所望の第2の励起光が信号光と同方向に発振するリング構成を備えた請求の範囲第2項記載の光増幅器。

10 9. 前記リング構成は、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第2の励起光を狭帯域に合波・分波するWDMカプラを含む請求の範囲第8項記載の光増幅器。

15 10. 前記増幅部は、前記励起光源による第1の励起光波長と異なる所望の第2の励起光が信号光と逆方向に発振するリング構成を備えた請求の範囲第2項記載の光増幅器。

16 11. 前記リング構成は、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第2の励起光の合波を行う方向性結合器を含む請求の範囲第10項記載の光増幅器。

20 12. 前記リング構成は、
前記第1の励起光と同波長の励起光を発する第2の励起光源と、
前記第2の励起光源による励起光を前記リング構成に光合波する合波器と
をさらに備えた請求の範囲第10項記載の光増幅器。

25 13. ラマン増幅媒体を内部に備え、該ラマン増幅媒体によりラマン増幅を行うラマン増幅部と、
希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部と
を備えた光増幅器。

14. 前記ラマン増幅媒体は高非線形ファイバである請求の範囲第13項記載の光増幅器。

5 15. 前記ラマン増幅媒体は、分散補償ファイバである請求の範囲第13項記載の光増幅器。

16. 前記ラマン増幅部は、
一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される高非線形ファイバと、
励起光を発生する励起光源と、
10 前記高非線形ファイバの他端に接続され、励起光を該高非線形ファイバに入射させると共に該高非線形ファイバから入射された光信号を前記希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器と
から構成される請求の範囲第14項記載の光増幅器。

15 17. 前記ラマン増幅部は、
一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される分散補償ファイバと、
励起光を発生する励起光源と、
前記分散補償ファイバの他端に接続され、励起光を該分散補償ファイバに入射させると共に該分散補償ファイバから入射された光信号を前記希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器と
20 18. 前記ラマン増幅部は、
励起光を発生する第2の励起光源と、
この励起光を前記一端からラマン増幅媒質に入射させる第2の合波器と
をさらに備える請求の範囲第15項記載の光増幅器。

25 19. 前記ラマン増幅部は、前記第2の合波器と前記ラマン増幅媒質との間に、希土類添加ファイバをさらに備える請求の範囲第18項記載の光増幅器。

20. 前記ラマン増幅部は、前記ラマン増幅媒質の一端に励起光の伝送ファイバへの漏れを防止するアイソレータをさらに備える請求の範囲第16項記載の光増幅器。

5

21. 前記希土類添加ファイバ増幅部は、

希土類添加ファイバを増幅媒質とする前段増幅部と、同じく該希土類添加ファイバを増幅媒質とする後段増幅部と、これら後段増幅部と前段増幅部との間に介挿される利得等化手段と

10 から構成される請求の範囲第13項記載の光増幅器。

22. 前記分散補償ファイバの分散スロープは、伝送ファイバの分散スロープとは逆符号である請求の範囲第15項記載の光増幅器。

15 23. 前記ラマン増幅部は、前記合波器に代えて方向性結合器を用いる請求の範囲第16項記載の光増幅器。

24. 前記分散補償ファイバは、伝送路となる分散シフトファイバの分散を補償するパラメータが設定される請求の範囲第15項記載の光増幅回路。

20

25. 光信号を送信する送信器と、

分散シフトファイバを用いた伝送路と、

光信号を受信する受信器と、

前記伝送路の分散を補償するパラメータが設定された分散補償ファイバによりラマン増幅を行うラマン増幅部、希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを備えた光増幅器と
25 から構成される光伝送システム。

26. 前記ラマン増幅部は、

- 一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される分散補償ファイバと、
励起光を発生する励起光源と、
前記分散補償ファイバの他端に接続され、励起光を該分散補償ファイバに入射
させると共に該分散補償ファイバから入射された光信号を前記希土類添加ファ
5 イバ増幅部に出力する合波器と
から構成される請求の範囲第25項記載の光増幅器。

27. 前記ラマン増幅部は、
励起光を発生する第2の励起光源と、
10 この励起光を前記一端からラマン増幅媒質に入射させる第2の合波器と
をさらに備える請求の範囲第26項記載の光増幅器。

28. 前記ラマン増幅部は、前記第2の合波器と前記ラマン増幅媒質との間に、
希土類添加ファイバをさらに備える請求の範囲第27項記載の光増幅器。

- 15 29. 前記ラマン増幅部は、前記ラマン増幅媒質の一端に励起光の伝送ファイ
バへの漏れを防止するアイソレータをさらに備える請求の範囲第26項記載の光
増幅器。

- 20 30. 前記希土類添加ファイバ増幅部は、
希土類添加ファイバを増幅媒質とする前段増幅部と、同じく該希土
類添加ファイバを増幅媒質とする後段増幅部と、これら後段増幅部と
前段増幅部との間に介挿される利得等化手段と
から構成される請求の範囲第25項記載の光増幅器。

- 25 31. 前記ラマン増幅部は、前記合波器に代えて方向性結合器を用いる請求の
範囲第26項記載の光増幅器。

32. 光信号を送信する送信器と、

シングルモードファイバを用いた伝送路と、

光信号を受信する受信器と、

- 前記伝送路の分散を補償するパラメータが設定された分散補償ファイバによりラマン増幅を行うラマン増幅部、希土類添加ファイバを増幅媒質とする希土類添加ファイバ増幅部とを備えた光増幅器と、
5 から構成される光伝送システム。

33. 前記ラマン増幅部は、

一端に伝送ファイバを介して光信号が入射される分散補償ファイバと、

- 10 励起光を発生する励起光源と、

前記分散補償ファイバの他端に接続され、励起光を該分散補償ファイバに入射させると共に該分散補償ファイバから入射された光信号を前記希土類添加ファイバ増幅部に出力する合波器と

から構成される請求の範囲第32項記載の光増幅器。

15

34. 前記ラマン増幅部は、

励起光を発生する第2の励起光源と、

この励起光を前記一端からラマン増幅媒質に入射させる第2の合波器と
をさらに備える請求の範囲第33項記載の光増幅器。

20

35. 前記ラマン増幅部は、前記第2の合波器と前記ラマン増幅媒質との間に、希土類添加ファイバをさらに備える請求の範囲第34項記載の光増幅器。

36. 前記ラマン増幅部は、前記ラマン増幅媒質の一端に励起光の伝送ファイバへの漏れを防止するアイソレータをさらに備える請求の範囲第33項記載の光増幅器。
25

37. 前記希土類添加ファイバ増幅部は、

希土類添加ファイバを増幅媒質とする前段増幅部と、同じく該希土

類添加ファイバを増幅媒質とする後段増幅部と、これら後段増幅部と前段増幅部との間に介挿される利得等化手段とから構成される請求の範囲第32項記載の光増幅器。

- 5 38. 前記ラマン増幅部は、前記合波器に代えて方向性結合器を用いる請求の範囲第33項記載の光増幅器。

図 1

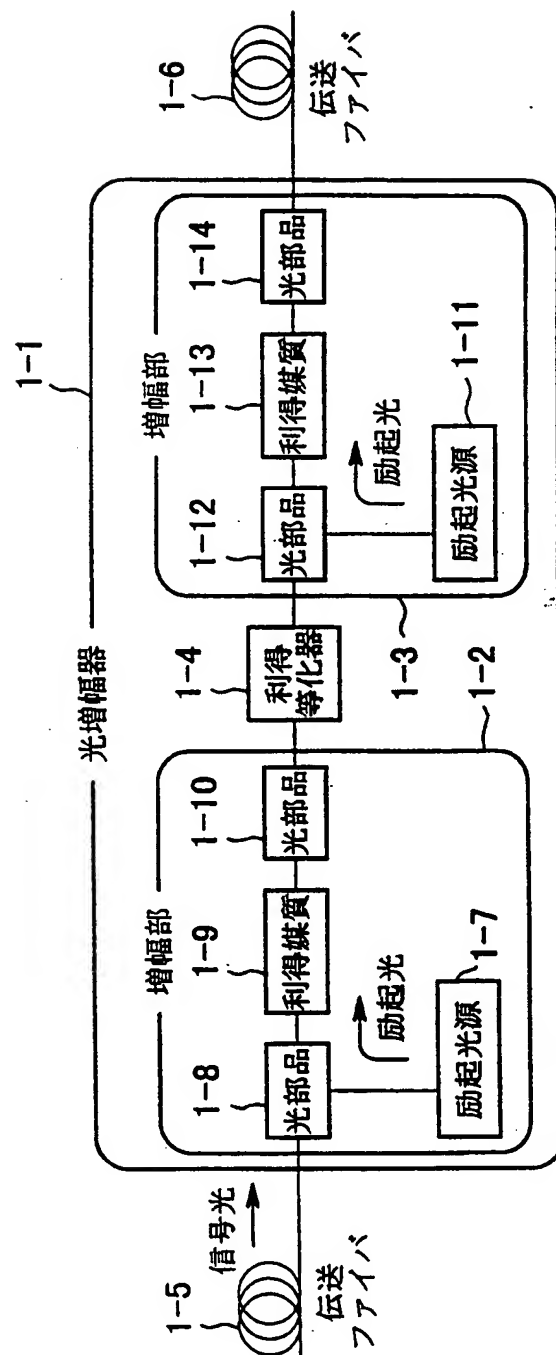


図 2

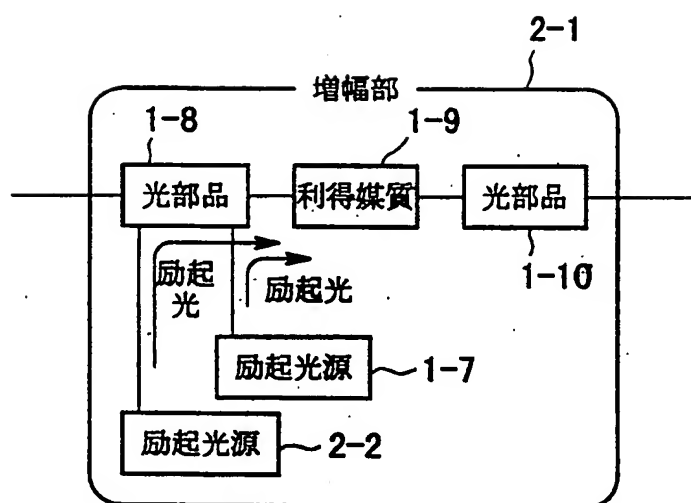


図 3

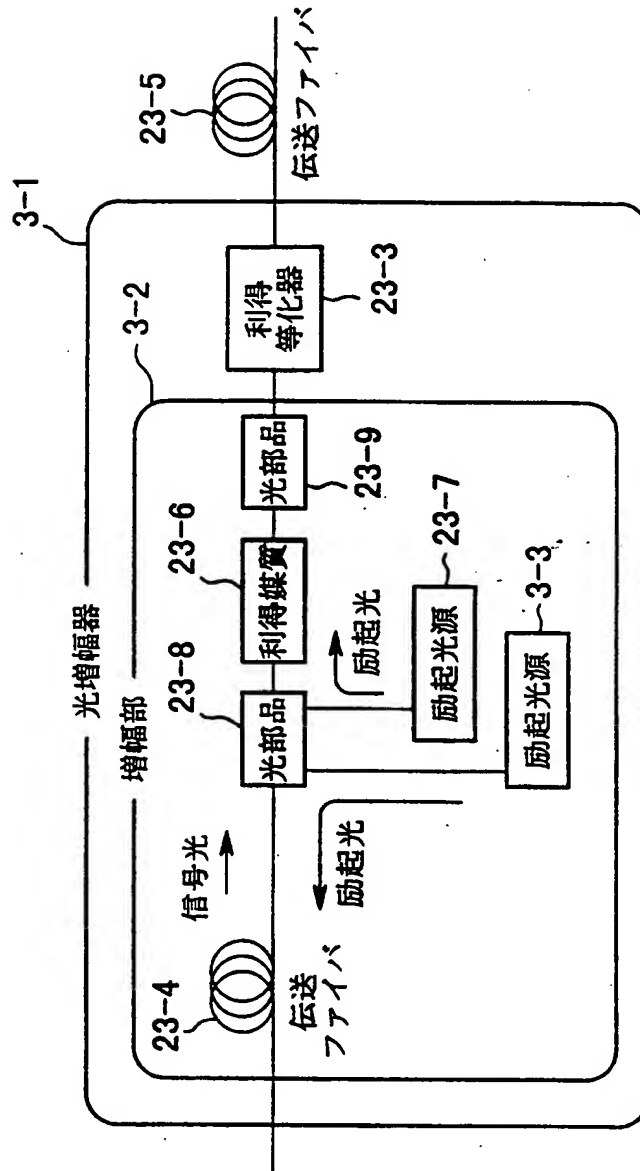


図 4

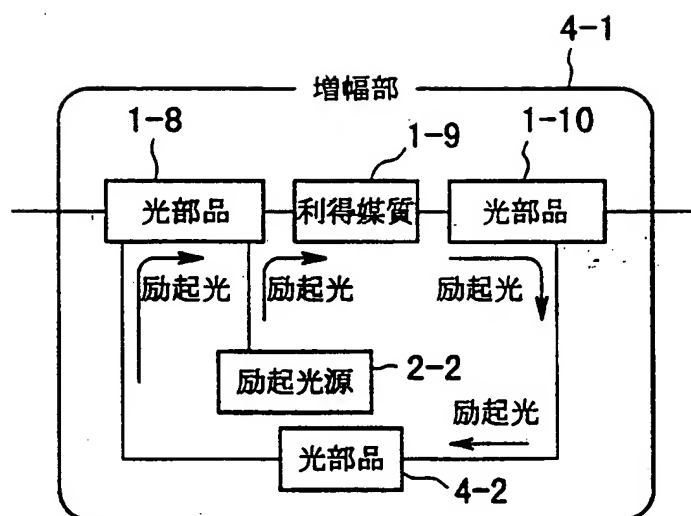


図 5

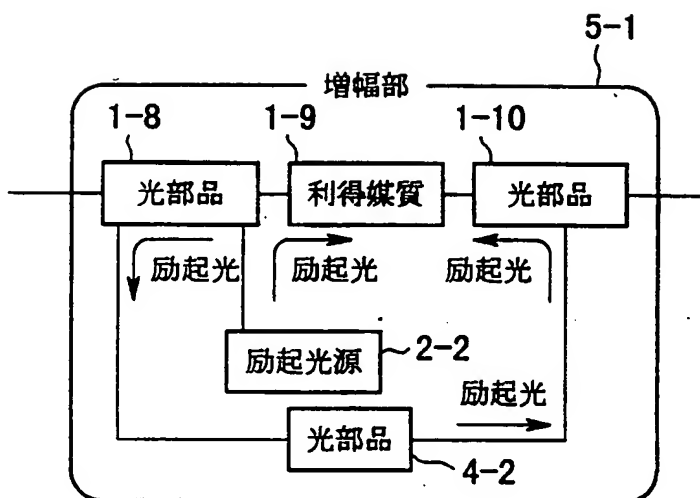
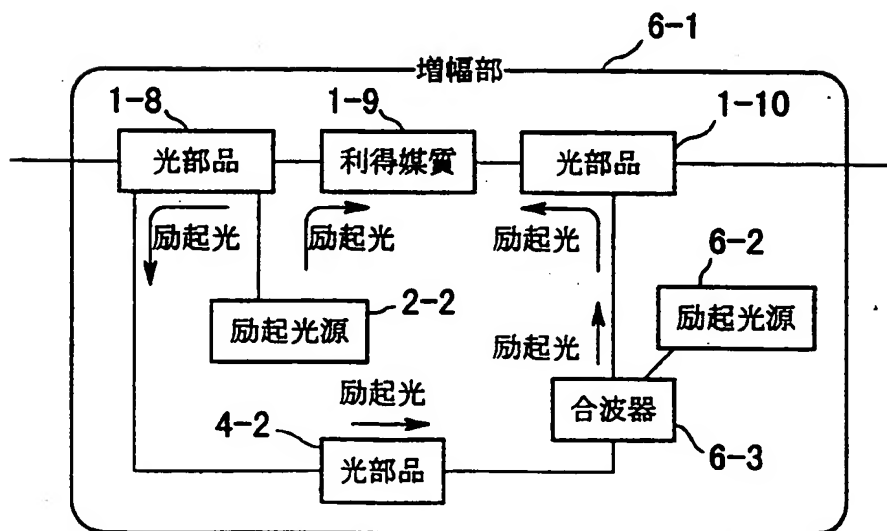


図 6



6/35

図 7 A

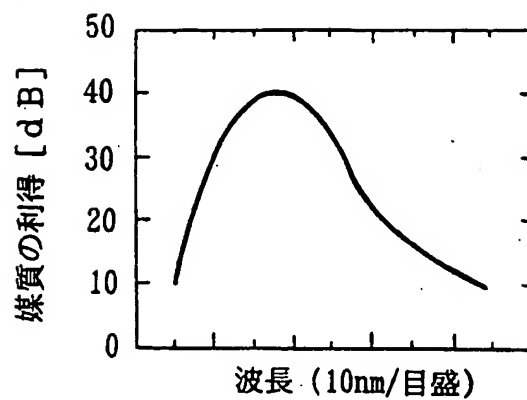


図 7 B

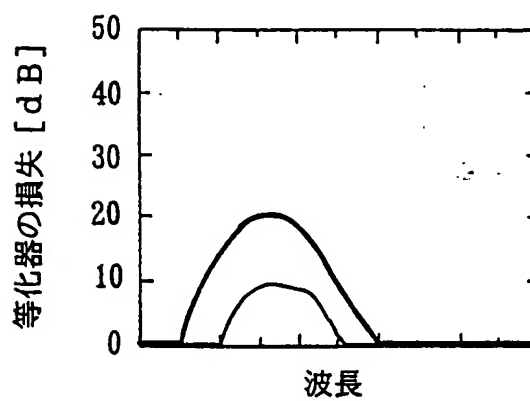
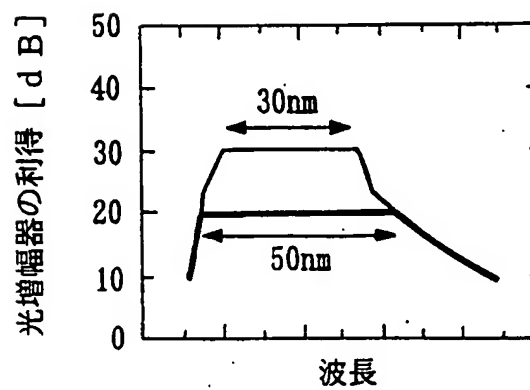


図 8



7/35

図 9 A

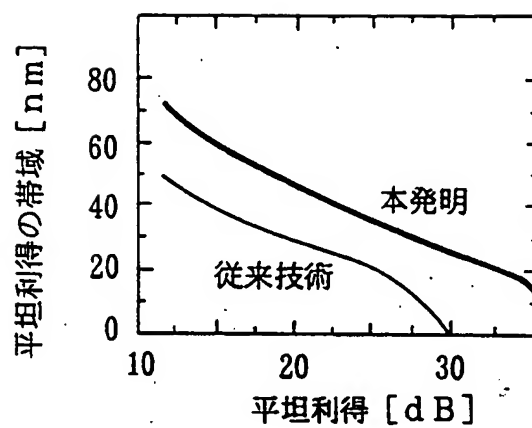


図 9 B

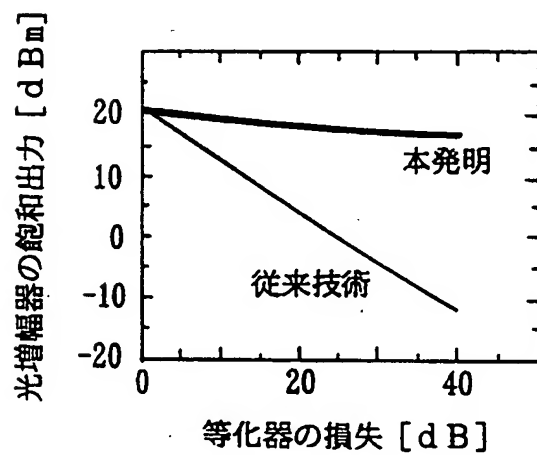


図 10

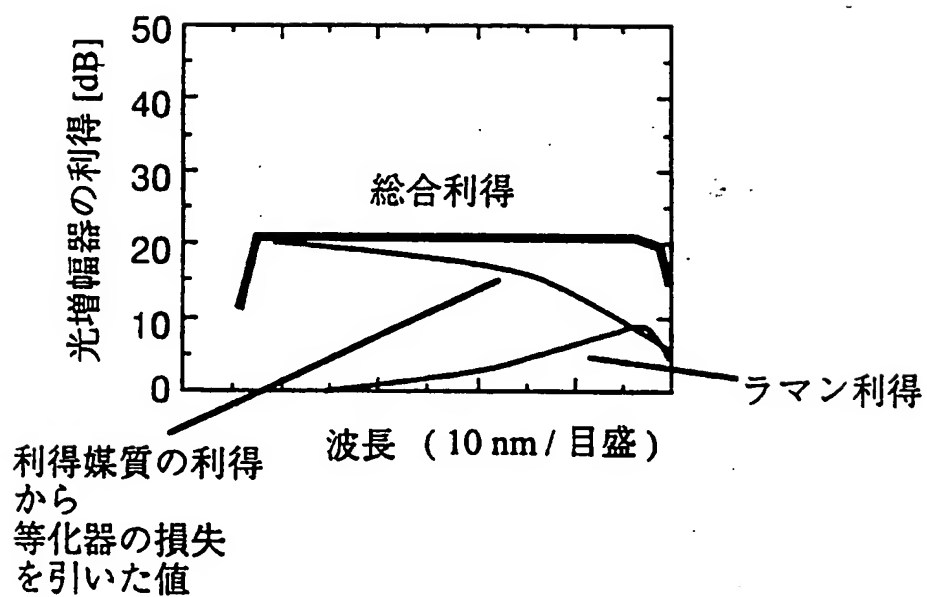


図 1 1 A

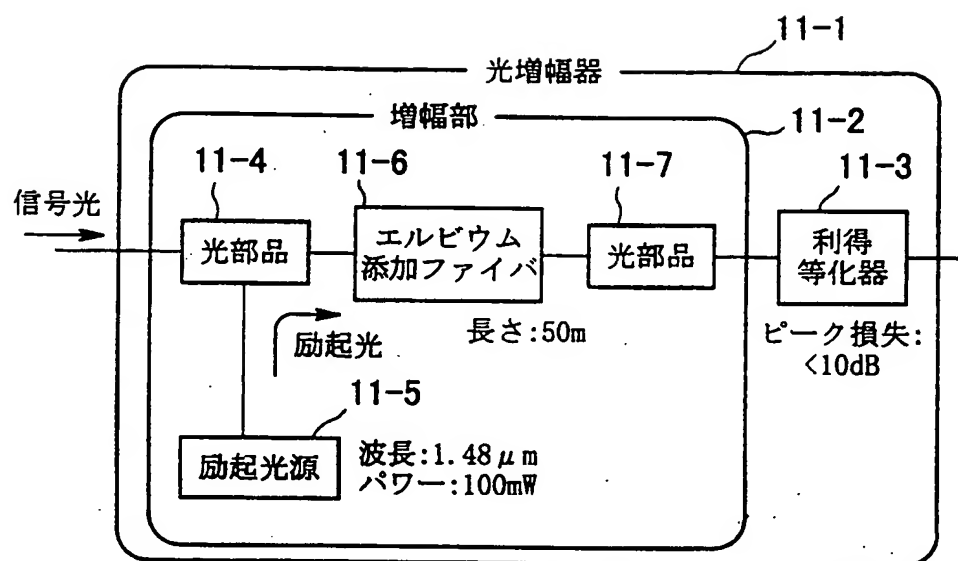


図 1 1 B

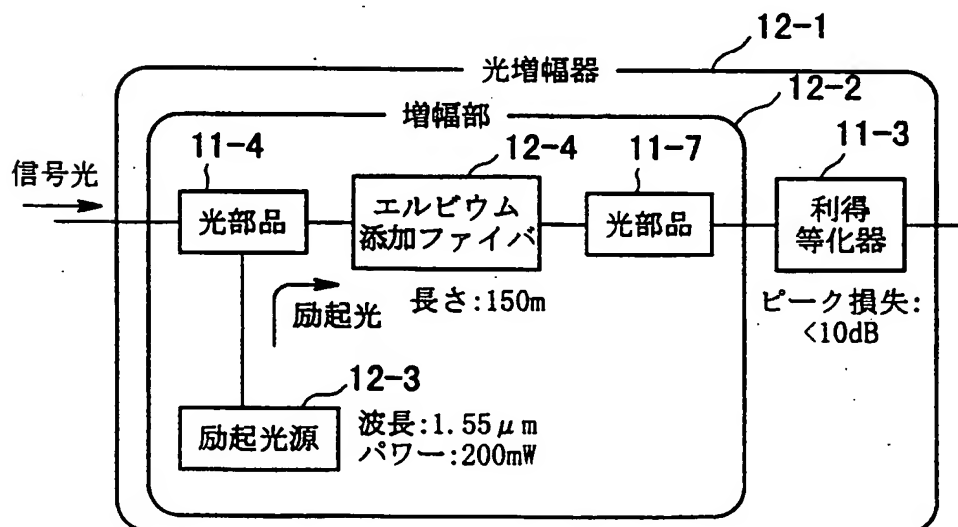


図 1 2 A

従来技術

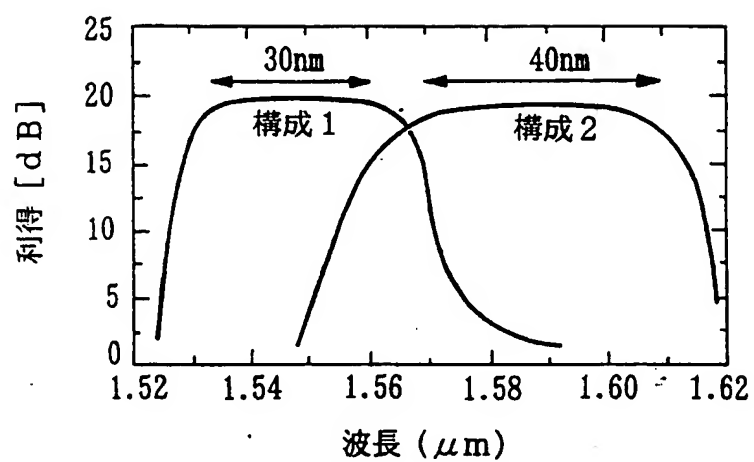
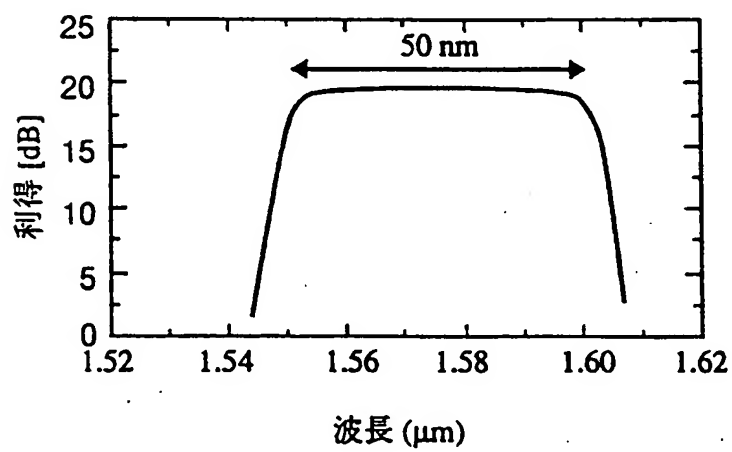


図 1 2 B

本発明



三十一

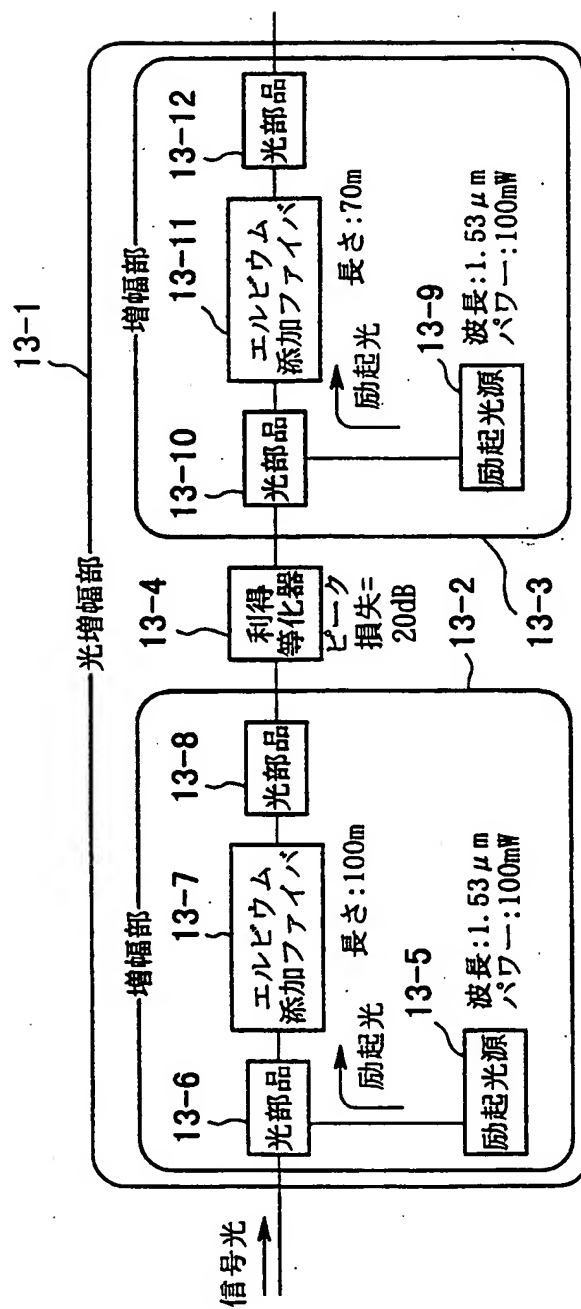


図 14

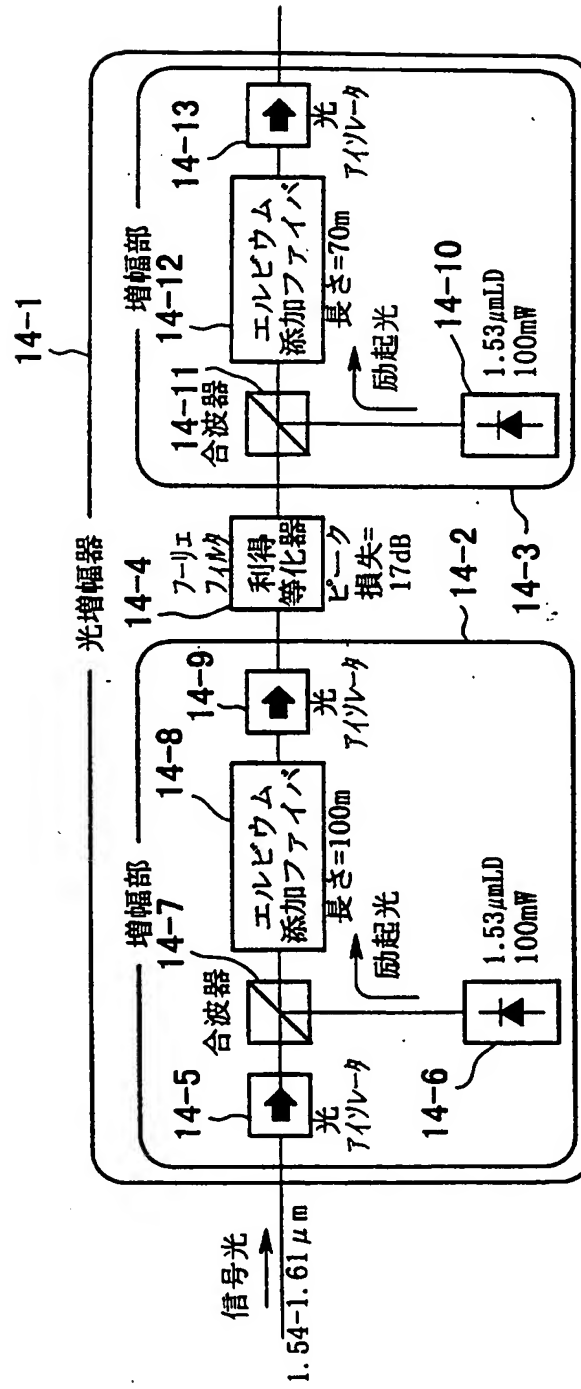


図 15

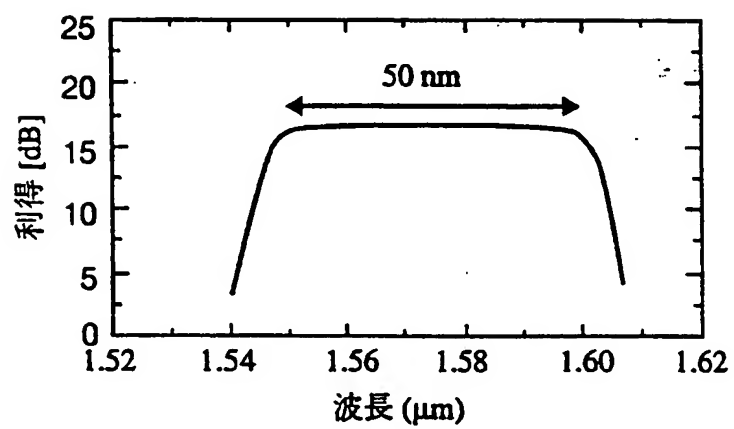


図 16

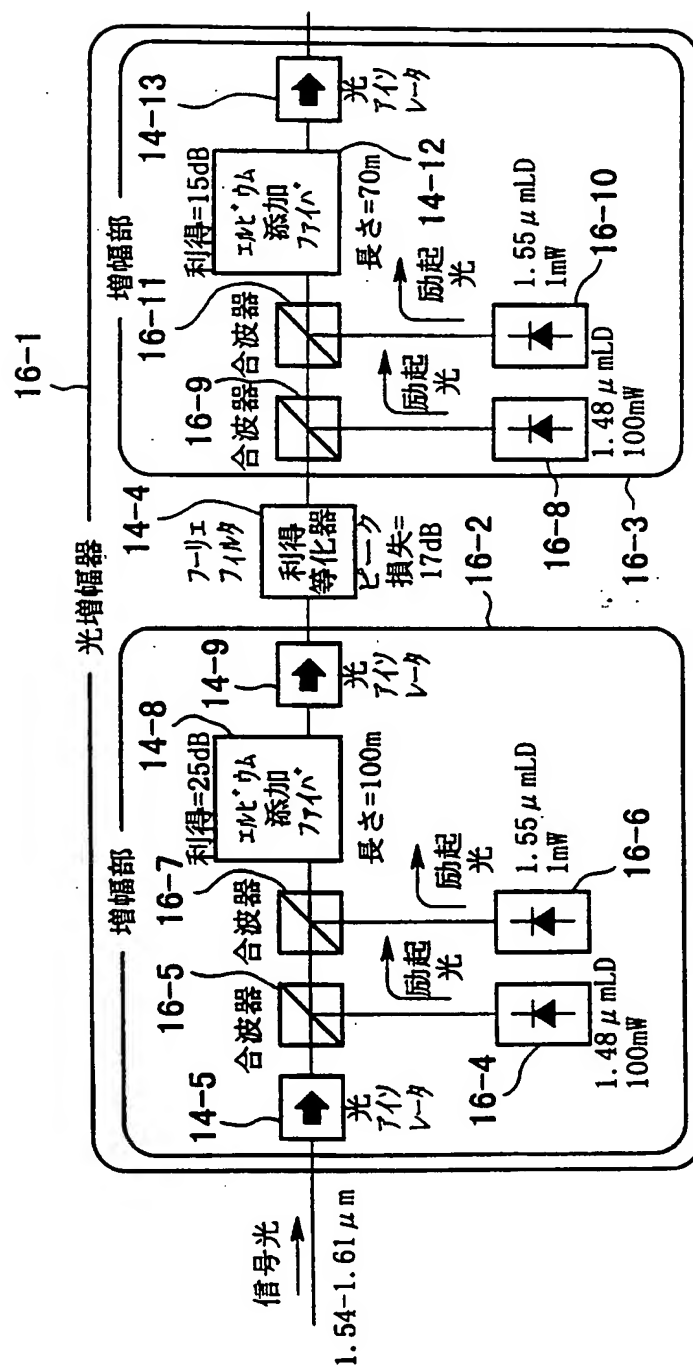


図 17

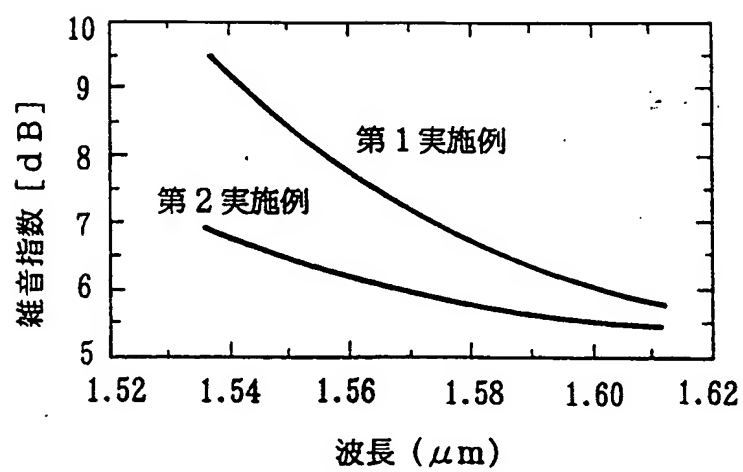
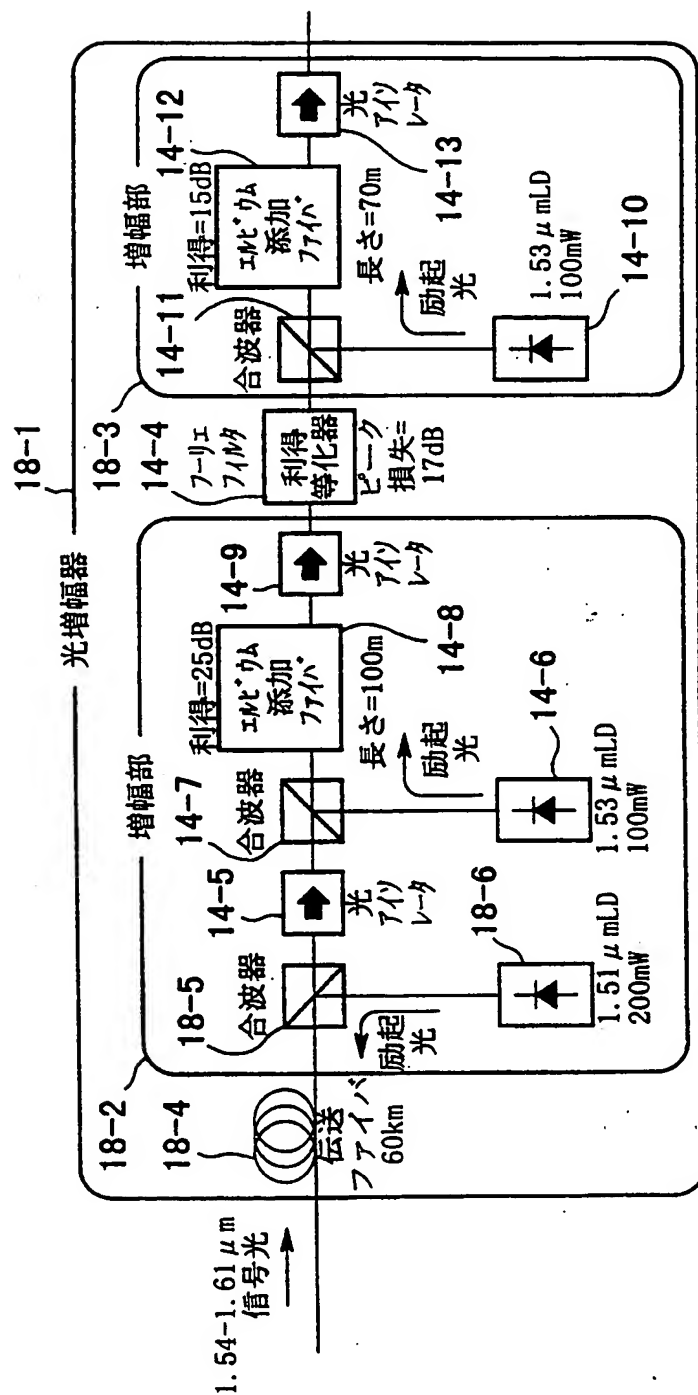


図 18



17/35

図 19

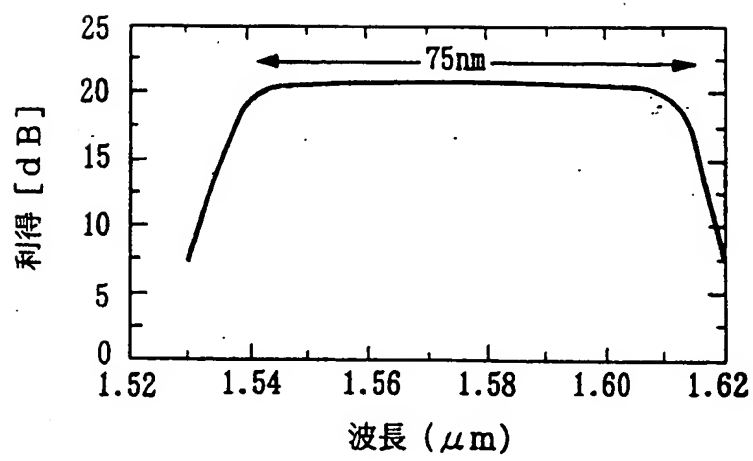


図 20

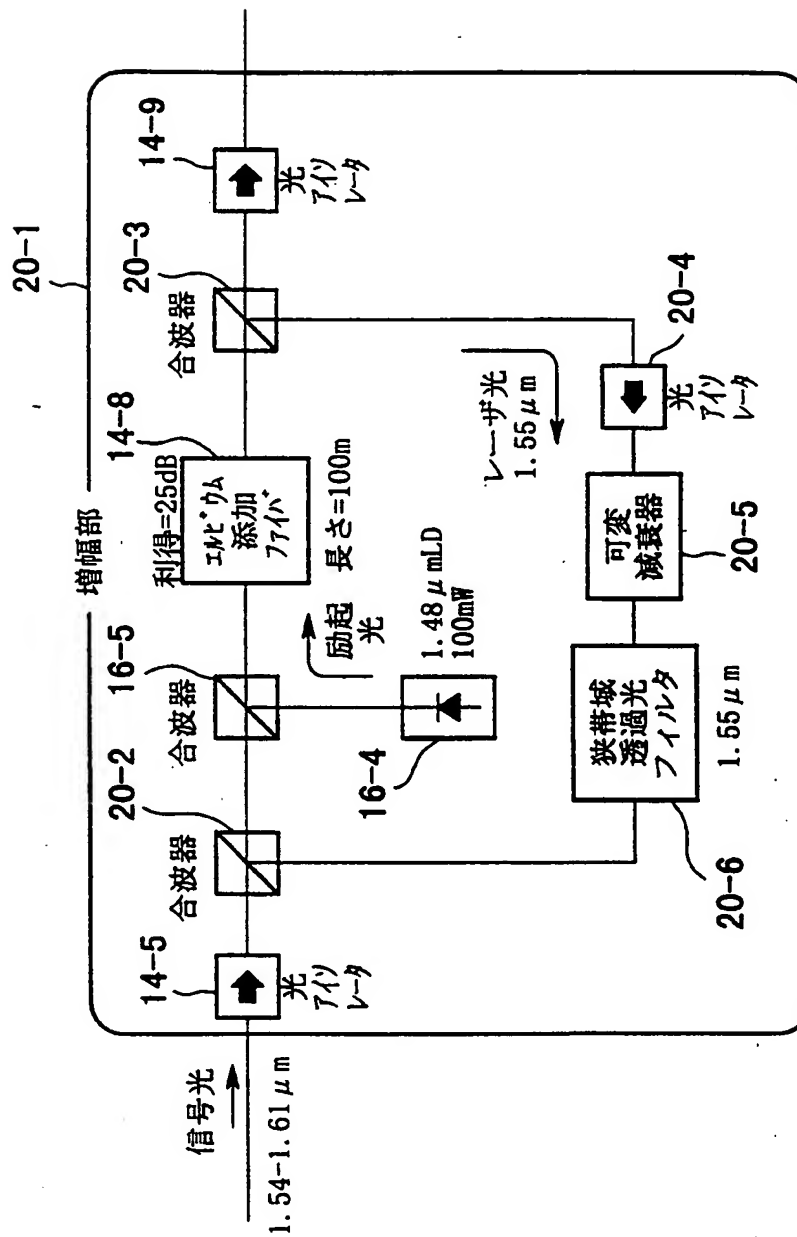


図 21

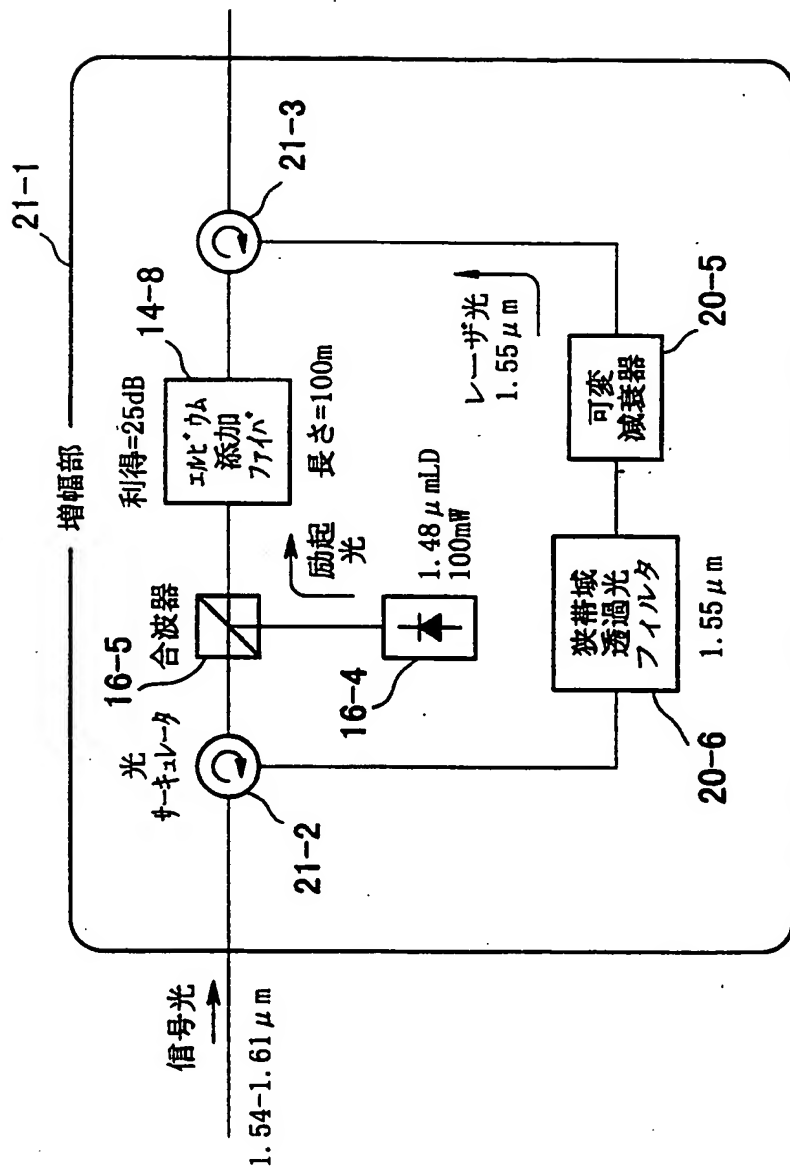


図 22

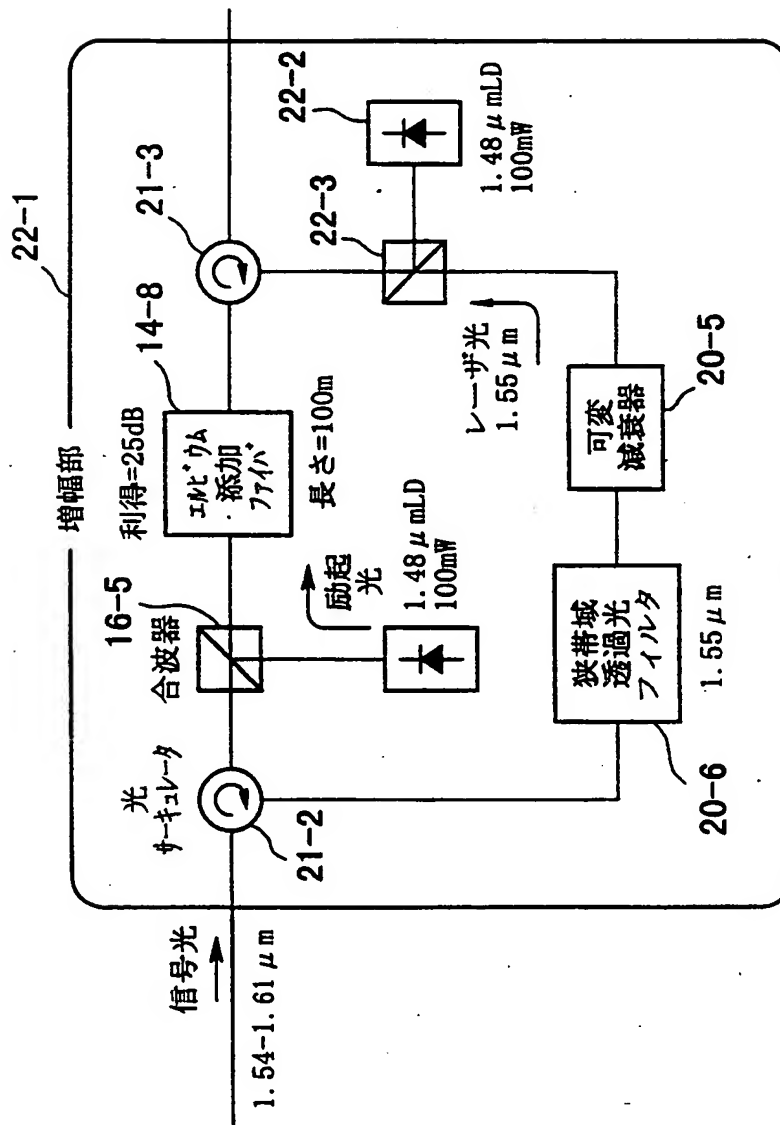


図 23

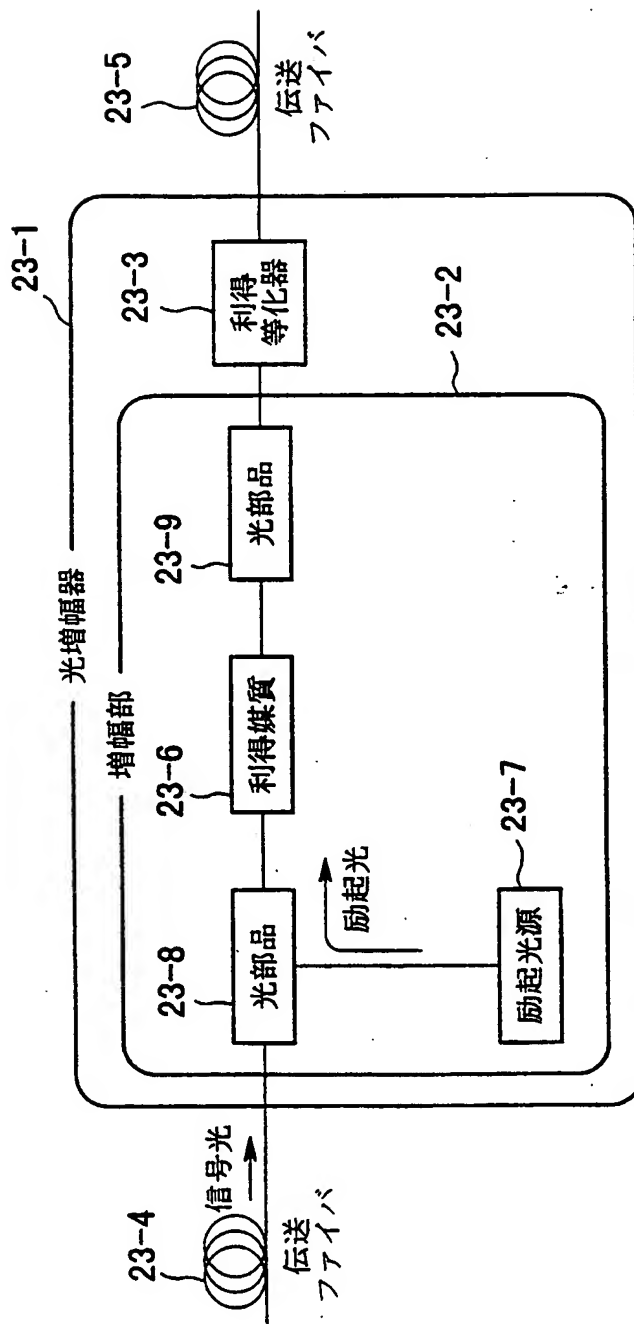


図 24

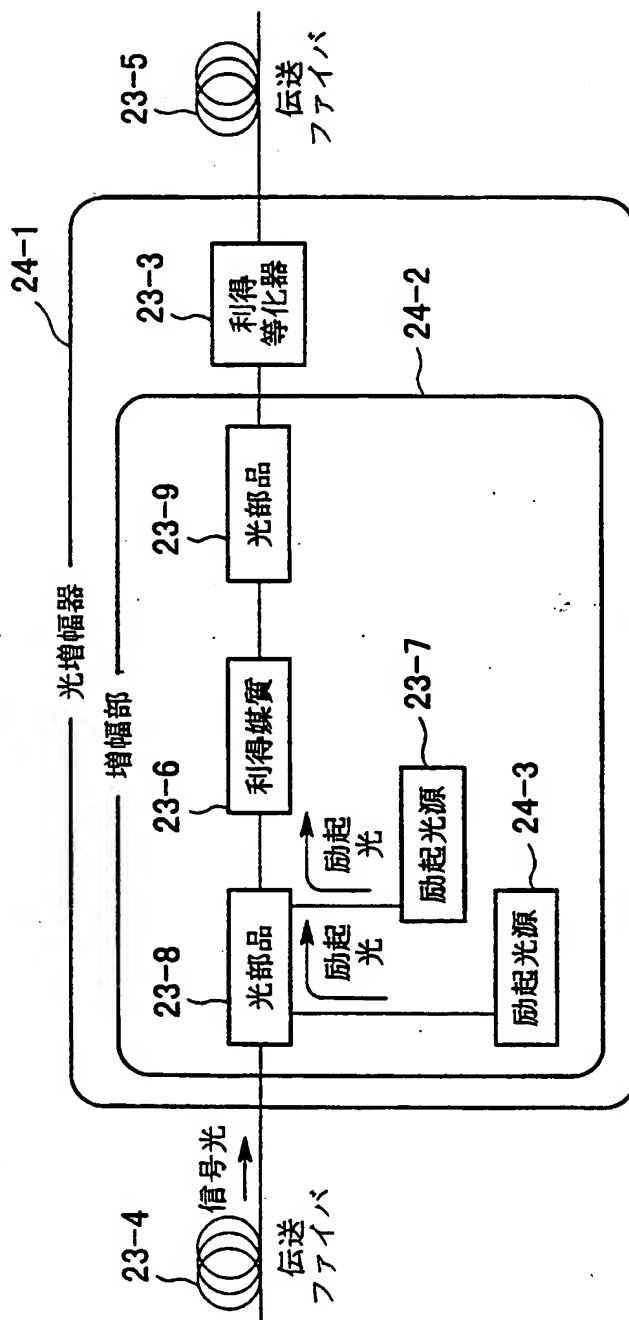
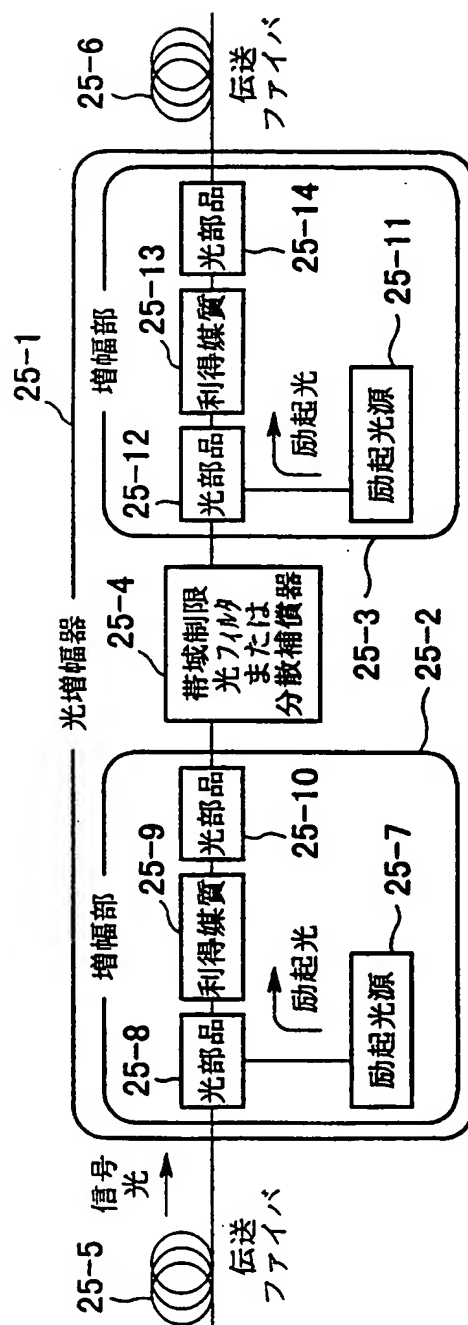


図 25



24/35

図 2 6 A

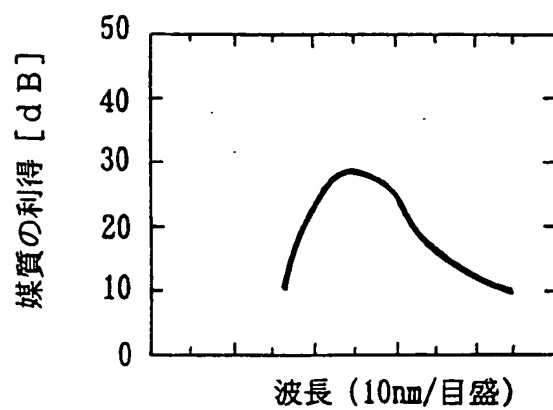


図 2 6 B

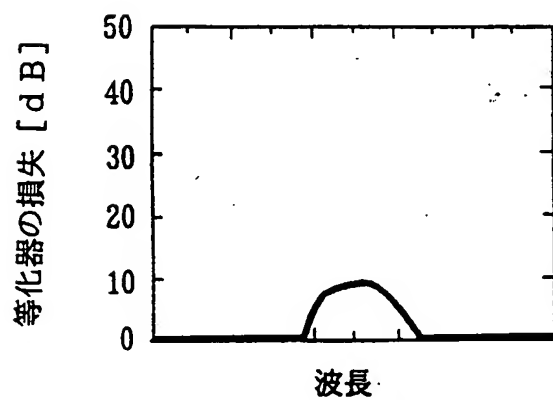


図 2 6 C

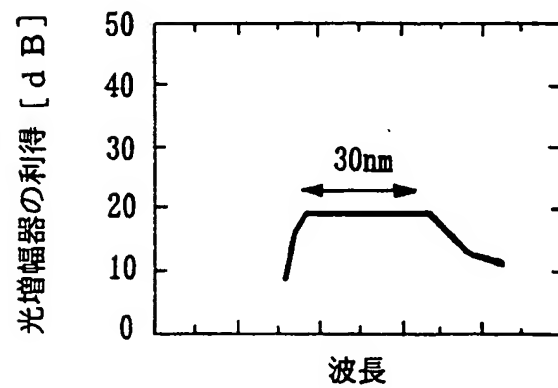


図 27

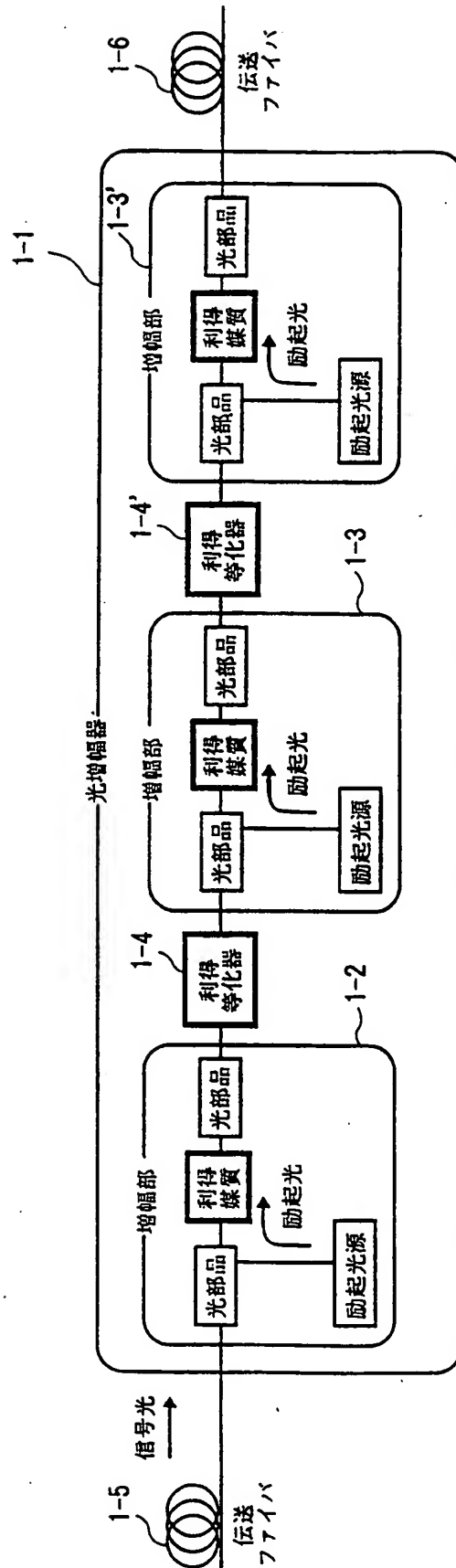


図 28

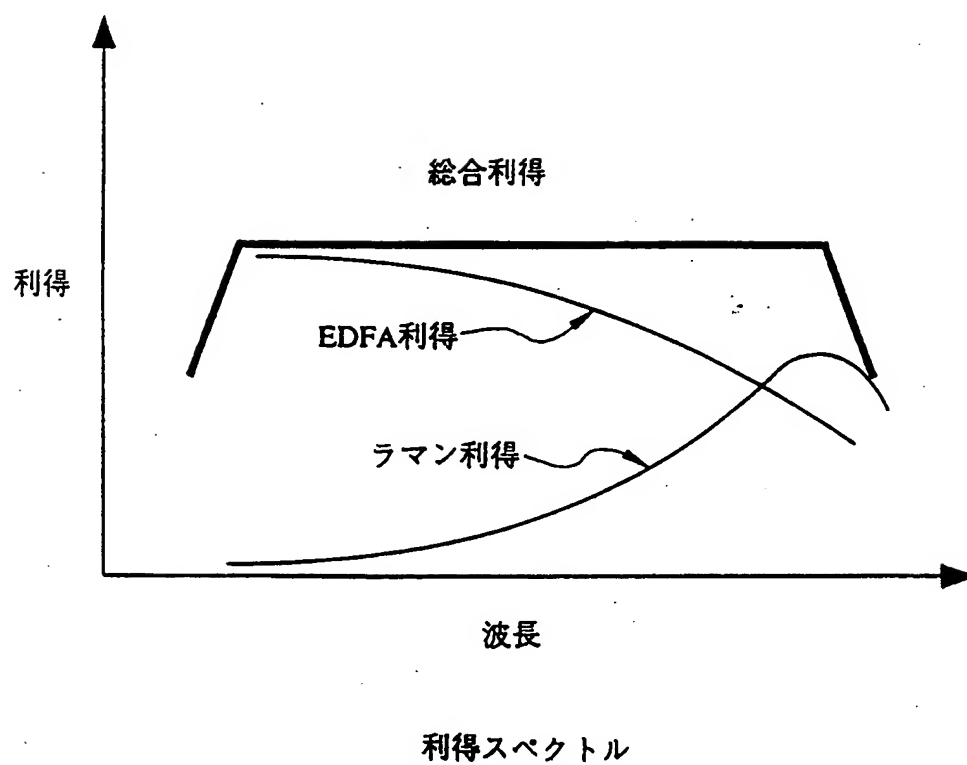


図 29

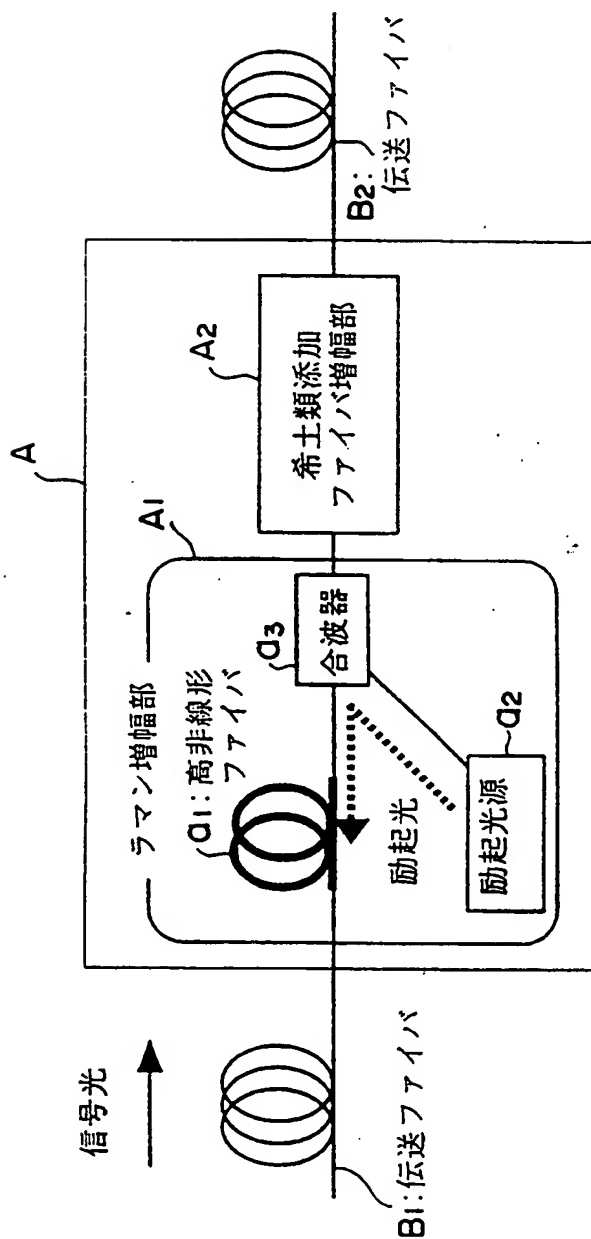


図 30

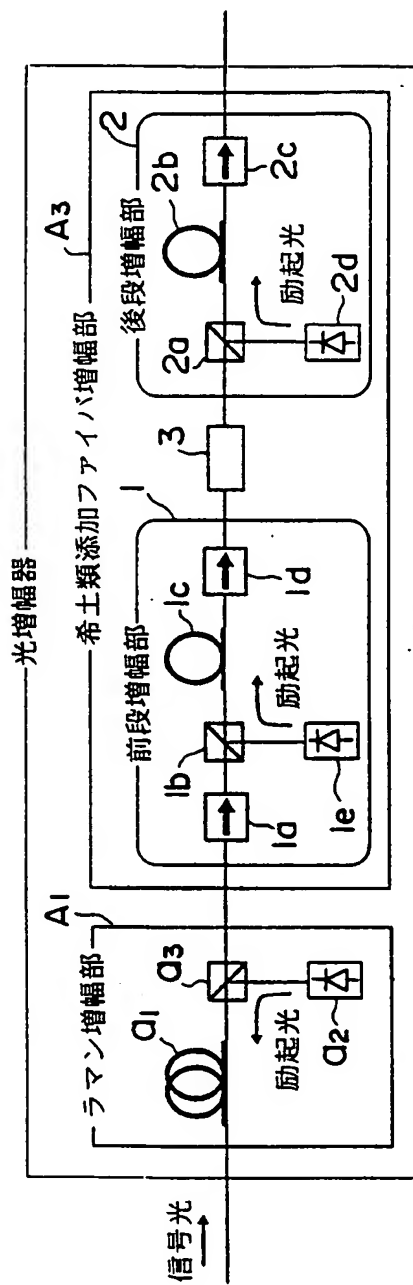
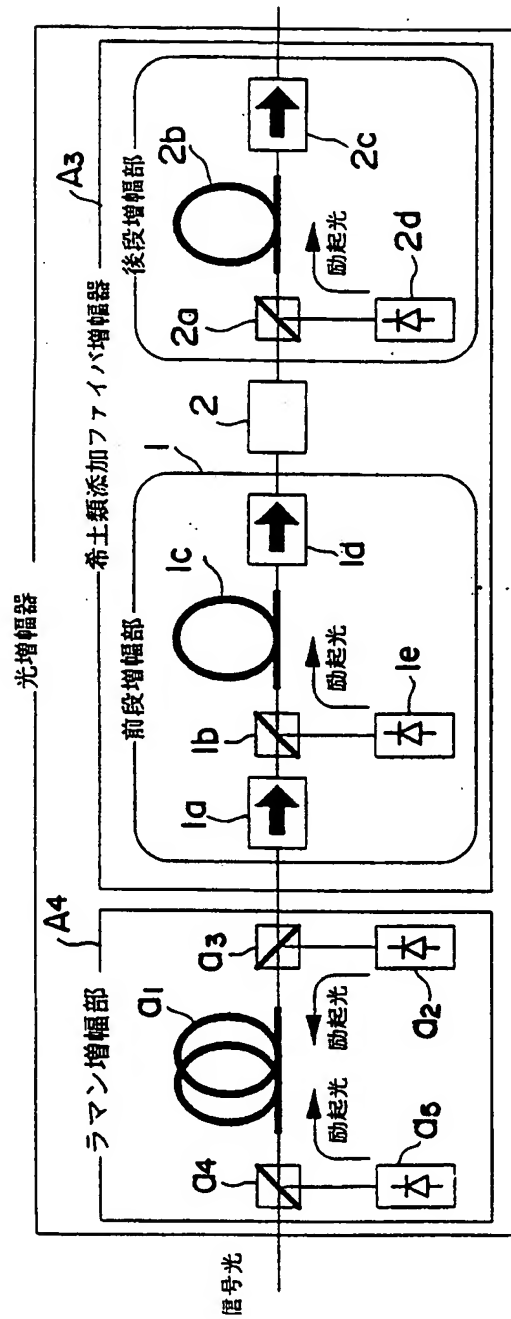


図 31



30/35

図 32

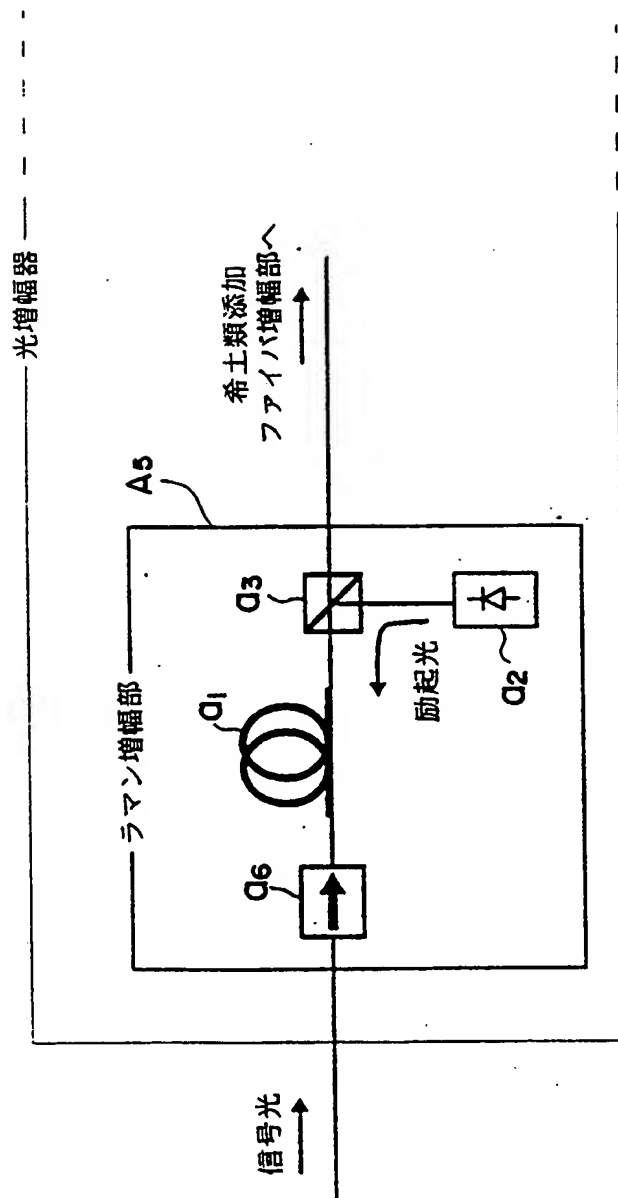
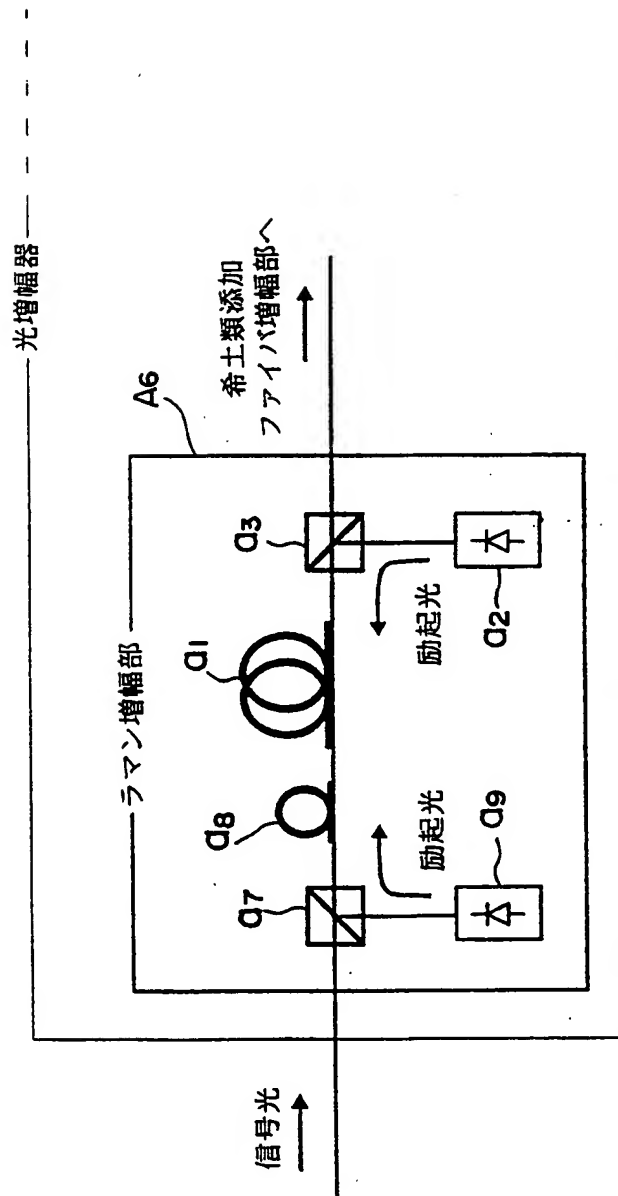


図 33



32 / 35

図 34

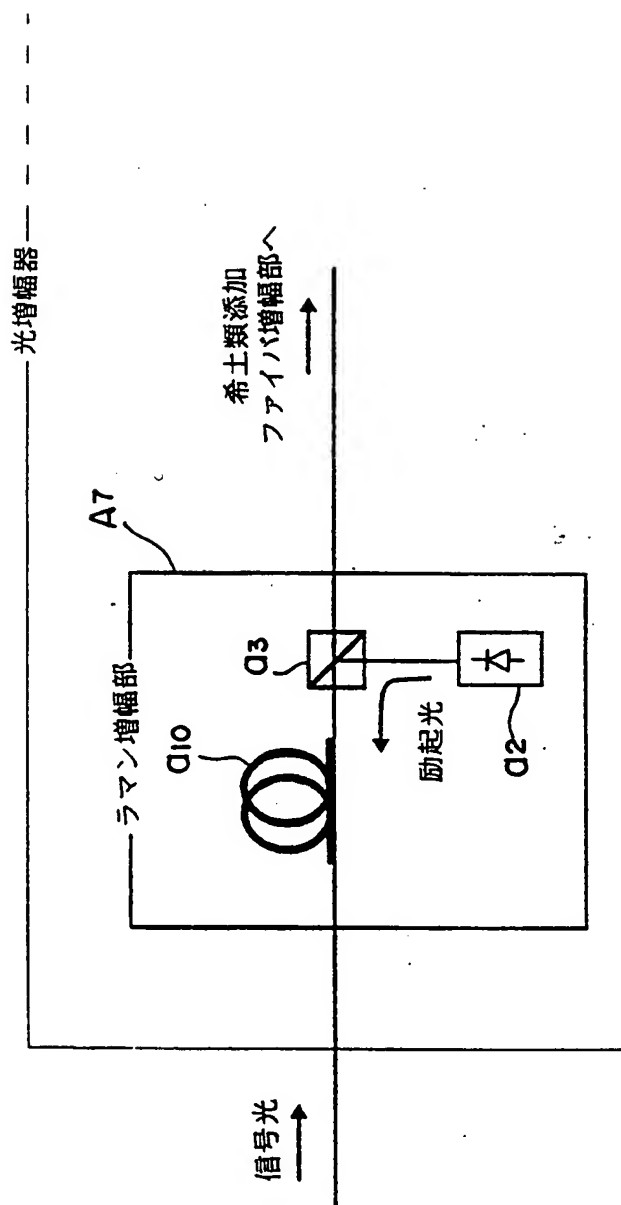
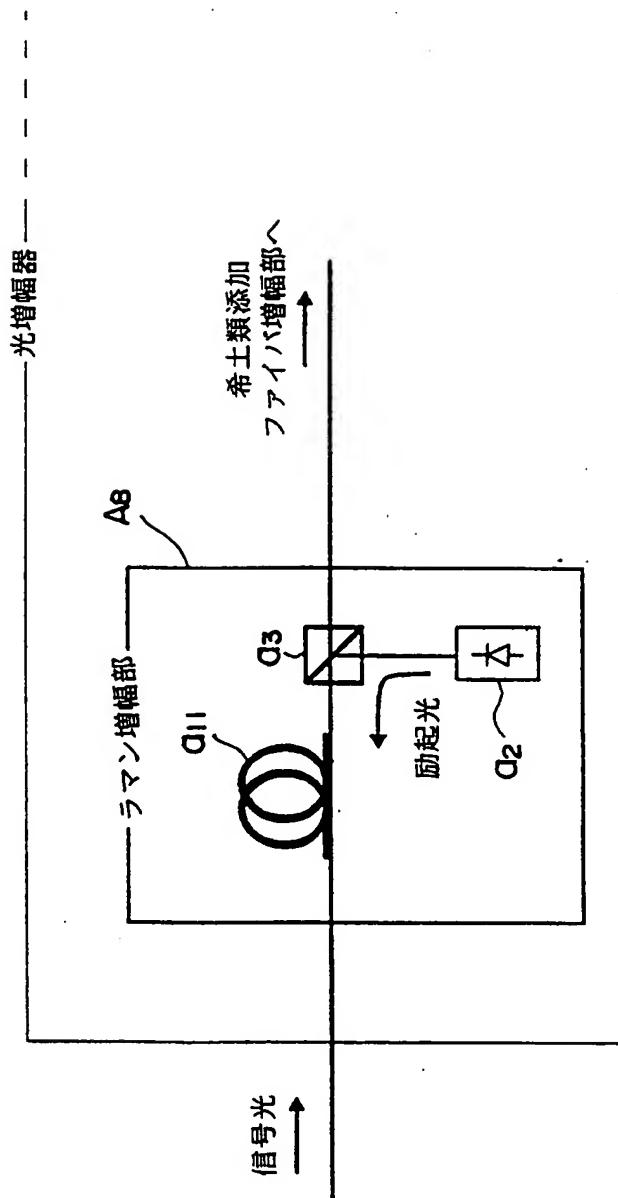


図 35



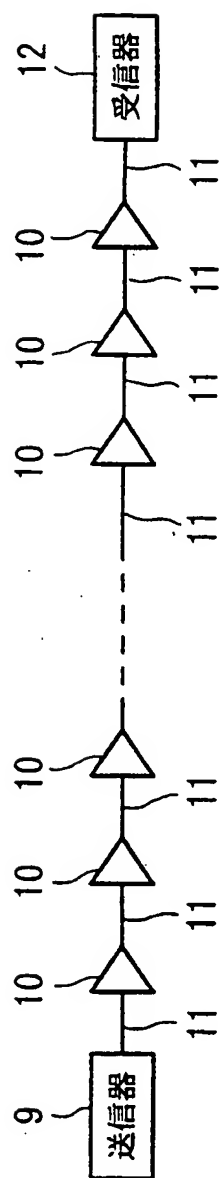


図36A

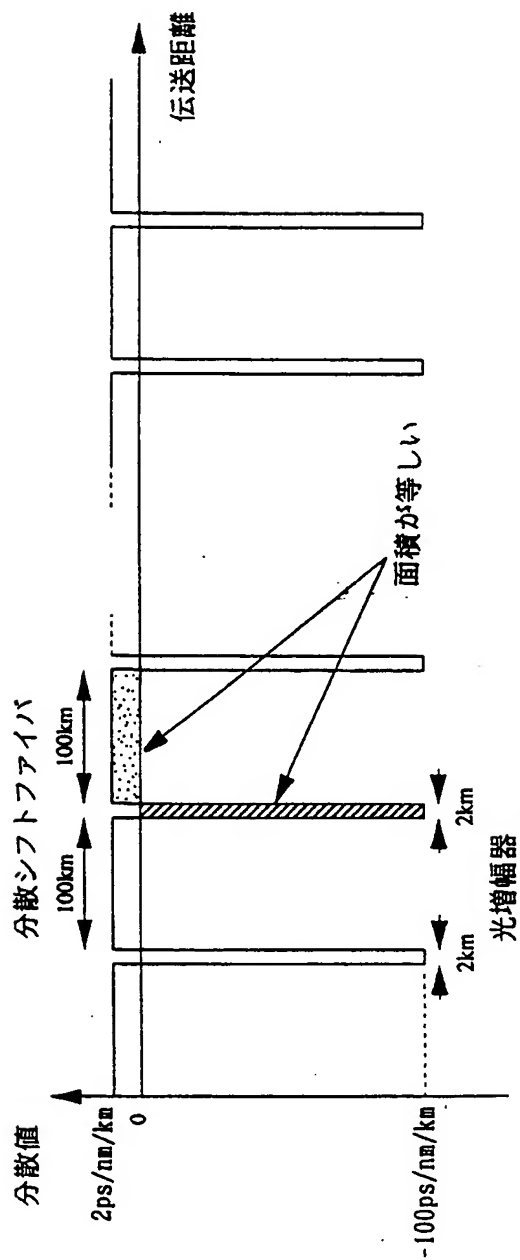


図36B

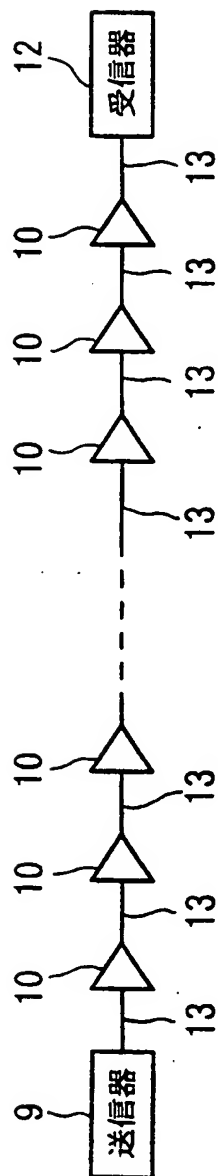


図37A

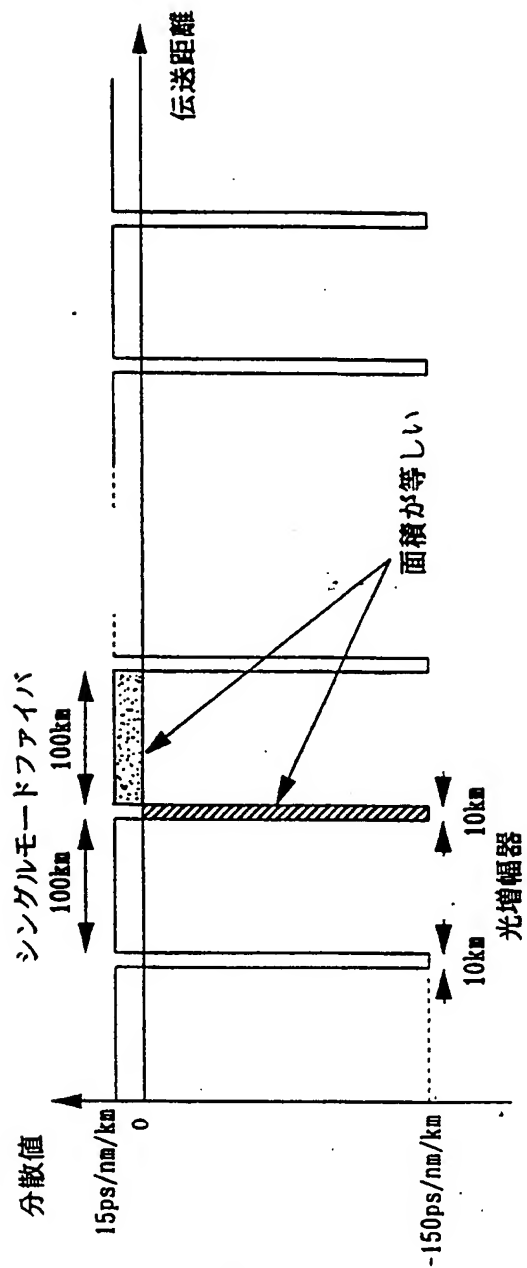


図37B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ H01S3/10, H01S3/23, H04B9/00, G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ H01S3/10, H01S3/23, H04B9/00, G02F1/35

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1940-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP, 08-213676, A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), August 20, 1996 (20. 08. 96), Claims 1 to 3 ; Fig. 1 ; Par. Nos. [0020] to [0028] (Family: none)	1, 3 2, 4-12, 21, 30, 37
Y	JP, 06-077561, A (Toshiba Corp.), March 18, 1994 (18. 03. 94), Fig. 4 ; Par. Nos. [0005] to [0007] (Family: none)	2, 8-12
Y	JP, 01-231030, A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), September 14, 1989 (14. 09. 89), Full text (Family: none)	4-7, 13-38
X Y	JP, 06-018945, A (Ando Electric Co., Ltd., Nippon Telegraph & Telephone Corp.), January 28, 1994 (28. 01. 94), Full text (Family: none)	13-15 4-7, 16-38

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
May 15, 1998 (15. 05. 98)Date of mailing of the international search report
May 26, 1998 (26. 05. 98)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00666

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 06-224505, A (American Telephone and Telegraph Co.), August 12, 1994 (12. 08. 94), Full text & US, 5128800, A	4-7, 13-38
A	JP, 06-169122, A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), June 14, 1994 (14. 06. 94), Full text (Family: none)	1-38
A	JP, 07-176817, A (AT & T Corp.), July 14, 1995 (14. 07. 95), Full text & US, 5430572, A & EP, 647000, A1 & AU, 7422494, A1	1-38
E, X	JP, 10-107352, A (Fujikura Ltd.), April 24, 1998 (24. 04. 98), Full text (Family: none)	1-3

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/00666

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁸ H01S3/10, H01S3/23, H04B9/00, G02F1/35

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁸ H01S3/10, H01S3/23, H04B9/00, G02F1/35

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1940-1996
日本国公開実用新案公報	1971-1998
日本国登録実用新案公報	1994-1998
日本国実用新案登録公報	1996-1998

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P, 08-213676, A (沖電気工業株式会社) 20. 8月. 1996 (20. 08. 96) 請求項1-3、図1、段落20-28 (ファミリーなし)	1, 3 2, 4-12, 21, 30, 37
Y	J P, 06-077561, A (株式会社東芝) 18. 3月. 1994 (18. 03. 94) 図4、段落5-7 (ファミリーなし)	2, 8-12
Y	J P, 01-231030, A (沖電気工業株式会社) 14. 9月. 1989 (14. 09. 89) 全文 (ファミリーなし)	4-7, 13-38

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に関する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15. 05. 98

国際調査報告の発送日

26.05.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小原 博生

2K

8102

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP, 06-018945, A (安藤電気株式会社、日本電信電話株式会社) 28. 1月. 1994 (28. 01. 94) 全文 (ファミリーなし)	13-15 4-7, 16-38
Y	JP, 06-224505, A (アメリカン テレフォン アンド テレグラフ カンパニー) 12. 8月. 1994 (12. 08. 94) 全文 & US, 5128800, A	4-7, 13-38
A	JP, 06-169122, A (松下電器産業株式会社) 14. 6月. 1994 (14. 06. 94) 全文 (ファミリーなし)	1-38
A	JP, 07-176817, A (エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション) 14. 7月. 1995 (14. 07. 95) 全文 & US, 5430572, A & EP, 647000, A1 & AU, 7422494, A1	1-38
E, X	JP, 10-107352, A (株式会社フジクラ) 24. 4月. 1998 (24. 04. 98) 全文 (ファミリーなし)	1-3